



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO DE TELECOMUNICACIÓN, ESPECIALIDAD EN
SONIDO E IMAGEN

Título del proyecto:

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE RECINTOS ESCÉNICOS NACIONALES E
INTERNACIONALES.**

Alumna: Marina Gil Huarte

Tutor: Miguel Arana Burgui

Pamplona, 1 de julio de 2015

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	4
1.1.	OBJETIVO.....	4
1.2.	PLAN DE DESARROLLO.....	4
2.	ELEMENTOS QUE CONDICIONAN EL SONIDO DENTRO DE UN RECINTO.....	6
2.1.	EL SONIDO.....	6
2.1.1.	INTRODUCCIÓN AL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.....	6
2.1.2.	REFLEXIÓN.....	6
2.1.3.	DIFRACCIÓN.....	6
2.1.4.	ABSORCIÓN.....	7
2.1.5.	DIFUSIÓN.....	7
2.2.	PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN UN RECINTO CERRADO.....	7
2.2.1.	SONIDO REFLEJADO.....	8
2.2.2.	ESTUDIO DE LAS PRIMERAS REFLEXIONES.....	9
2.2.3.	ECO. ECO FLOTANTE.....	11
2.2.4.	MODOS PROPIOS DE UNA SALA.....	11
2.2.5.	NIVEL DE PRESIÓN SONORA.....	12
2.2.6.	BALANCE ENERGÉTICO SONORO.....	12
2.3.	MATERIALES Y ELEMENTOS UTILIZADOS EN EL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DE RECINTOS.....	13
2.3.1.	MATERIALES ABSORBENTES.....	13
2.3.2.	RESONADORES.....	14
2.3.3.	REFLECTORES.....	16
2.3.4.	DIFUSORES.....	20
3.	PARÁMETROS ACÚSTICOS PARA LA EVALUACIÓN ACÚSTICA DE LAS SALAS.....	22
3.1.	CRITERIO TEMPORAL.....	22
3.1.1.	TIEMPO DE REVERBERACIÓN.....	22
3.1.2.	EARLY DECAY TIME.....	24
3.1.3.	CALIDEZ Y BRILLO.....	26
3.2.	CRITERIO ENERGÉTICO.....	27
3.2.1.	CLARIDAD DE LA VOZ (C50).....	27
3.2.2.	CLARIDAD MUSICAL (C80).....	28
3.2.3.	DEFINICIÓN (D).....	29
3.3.	FUERZA ACÚSTICA O SONORIDAD (G).....	30
3.4.	PARÁMETROS LATERALES.....	31
3.4.1.	JFL.....	31
3.4.2.	JFLC.....	31
3.5.	PARÁMETROS BINAURALES.....	31
3.5.1.	IACC.....	31
3.6.	ÍNDICES DE INTELIGIBILIDAD.....	32
3.6.1.	STI.....	33
3.6.2.	RASTI.....	33
4.	DESCRIPCIÓN DE AUDITORIOS ANALIZADOS.....	34
4.1.	CONCERT HOUSES.....	34
4.1.1.	INTERNACIONALES.....	34

4.1.2. ESPAÑOLES.....	36
4.2. OPERA HOUSES.....	37
4.2.1. INTERNACIONALES.....	37
4.2.2. ESPAÑOLES.....	37
5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	39
5.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICO-TEMPORAL DE VOLÚMENES Y AFOROS.....	39
5.2 ANÁLISIS DE LOS DIFERENTES T_R EVALUADOS POR ODEON.....	40
5.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE DETALLES TÉCNICOS.....	48
5.3.1. CONCERT HOUSES.....	48
5.3.2 OPERA HOUSES.....	51
5.4 COMPARATIVA SALAS DE CONCIERTO VS SALAS DE ÓPERA.....	56
CONCLUSIONES.....	71
REFERENCIAS.....	72
APÉNDICE.....	73

1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVOS

Es de sobra conocido el profundo estudio realizado a lo largo de muchos años por Leo L. Beranek sobre la recopilación de las características acústicas de un gran número de recintos escénicos (salas de concierto y de ópera) distribuidos por todo el mundo. Se recopilan en su muy conocido libro "Concert and Opera Halls: How They Sound" [1]. Establece una clasificación desde Categoría A+ (Superior) hasta Categoría C (Aceptable) en función de la evaluación subjetiva de expertos musicales y público. En base a las características geométricas y acústicas de tales recintos se pueden encontrar relaciones entre algunos parámetros acústicos y la categorización de los recintos, con el siempre difícil objetivo de correlacionar magnitudes acústicas objetivas y cualificaciones acústicas subjetivas.

A nivel español, la fundación SGAE (Sociedad General de Autores y Editores) tiene abierta una página web (MIRE: Mapa Informatizado de Recintos Escénicos [2]) donde se aporta información, bastante completa, sobre múltiples recintos escénicos españoles. En un estudio previo [3] se recopilaron 16 de tales recintos y llevado a cabo un estudio comparativo entre diferentes características geométricas y acústicas de tales recintos con los de la base de datos del citado trabajo de Leo L. Beranek. Por otra parte, en anteriores Proyectos Fin de Carrera (e.g. [4]) se modelizaron con el programa Odeon [5] los 63 recintos. Sobre este aspecto hemos llevado a cabo un estudio sobre las estrategias que utiliza este software para evaluar la reverberación de un local y realizar un estudio comparativo de las mismas.

1.2 PLAN DE DESARROLLO

- ESTUDIO DE LA BIBLIOGRAFÍA EXISTENTE

Se ha llevado a cabo una recopilación y lectura de información tanto de las normas de medida (ISO 3382) software de modelización (ODEON), PFC's realizados en el departamento de Física de la Universidad Pública de Navarra, así como de diferente bibliografía sobre la temática. También se ha analizado los procesos de medida de los datos obtenidos por otros grupos facilitados por el Laboratorio de Acústica y por otros ingenieros acústicos que hemos encontrado en el proceso de búsqueda.

- DESCRIPCIÓN GENERAL DE RECINTOS Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS GEOMÉTRICOS

Con los parámetros acústicos encontrados obtenidos a partir de procesos experimentales se ha hecho una descripción de los recintos, incluyéndose el proceso de medida y simulación acústica, características generales, capacidad, volumen y valores de los parámetros acústicos. Evaluación de las características técnicas de las salas estudiadas mediante una comparación de sus relaciones geométricas con algunas salas de la recopilación de Auditorios y Teatros internacionales realizada por Beranek.

- **EVALUACIÓN DE LA REVERBERACIÓN**

Estudio sobre las estrategias que utiliza este software para evaluar la reverberación de un local y realizar un estudio comparativo de las mismas.

- **ANÁLISIS ACÚSTICO COMPARATIVO Y EXPOSICIÓN DE DATOS**

Se realiza un análisis comparativo de detalles geométricos y características acústicas tanto entre recintos extranjeros y españoles, así como entre Auditorios y Teatros.

2. ELEMENTOS QUE CONDICIONAN EL SONIDO DENTRO DE UN RECINTO

2.1 El sonido.

El sonido es un fenómeno vibratorio transmitido en forma de ondas. Para que se genere un sonido es necesario que vibre alguna fuente. Las vibraciones pueden ser transmitidas a través de diversos medios elásticos, entre los más comunes se encuentran el aire y el agua. La fonética acústica concentra su interés especialmente en los sonidos del habla: cómo se generan, cómo se perciben, y cómo se pueden describir gráfica y/o cuantitativamente.

2.1.1 Introducción al acondicionamiento acústico

La finalidad de acondicionar acústicamente un determinado recinto (cerrado o al aire libre) es lograr que el sonido proveniente de una fuente o fuentes sea irradiado por igual en todas direcciones logrando un campo sonoro difuso ideal. Esta uniformidad no siempre se consigue y la acústica arquitectónica intenta aproximarse al máximo a este ideal a través de ciertas técnicas que aprovechan las cualidades de absorción, reflexión y difusión de los materiales constructivos de techos, paredes y suelos y de los objetos u otros elementos presentes en el recinto. De hecho, cosas tan aparentemente triviales como la colocación o eliminación de una moqueta, una cortina o un panel, son cruciales y pueden cambiar las condiciones acústicas de un recinto. Dentro de los recintos cerrados, es fundamental conseguir un equilibrio adecuado entre el sonido directo y el campo sonoro reverberante. Por ello, un adecuado acondicionamiento acústico implica que las ondas reflejadas sean las menos posibles, por lo que desempeña un papel la capacidad de absorción de los materiales absorbentes que minimizarán la reverberación indeseada o ecos que pueden dificultar la inteligibilidad de la comunicación sonora.

2.1.2. Reflexión

Una de las propiedades de las ondas sonoras es la reflexión, entendiendo por tal su rebote sobre una superficie u objeto; parte de su energía se pierde en cada citado rebote, absorbida por la superficie u objeto sobre el que incide, por lo que la onda reflejada posee menos energía que la onda incidente.

La reflexión de las ondas sonoras cumple las leyes de la óptica geométrica siempre que las dimensiones de las superficies sobre las que inciden sean superiores a su longitud de onda; así como que las rugosidades de dichas superficies sean inferiores a su ya citada longitud de onda; como se recordará la longitud de onda (λ) es la distancia entre frentes de ondas consecutivas. Esta característica de la reflexión tiene una gran importancia arquitectónica, pues permite orientar las reflexiones sonoras en función de la forma de las superficies reflectantes, de tal manera que colocando paneles o lamas de diversos materiales (madera, metacrilato, etc.) y formas apropiadas de los mismos, podemos conseguir orientar las ondas sonoras hacia zonas de un local en que, sin estas disposiciones, no les llegaría el sonido o sólo muy debilitado; como se podrá comprender tiene una importancia capital en el diseño de salas de conciertos, auditorios etc.

2.1.3. Difracción

La difracción consiste en que una onda puede rodear un obstáculo o propagarse a través de una pequeña abertura. Aunque este fenómeno es general, su magnitud depende de la relación que existe entre la longitud de onda y el tamaño del obstáculo o abertura. Si una abertura

(obstáculo) es grande en comparación con la longitud de onda, el efecto de la difracción es pequeño, y la onda se propaga en líneas rectas o rayos, de forma semejante a como lo hace un haz de partículas. Sin embargo, cuando el tamaño de la abertura (obstáculo) es comparable a la longitud de onda, los efectos de la difracción son grandes y la onda no se propaga simplemente en la dirección de los rayos rectilíneos, sino que se dispersa como si procediese de una fuente puntual localizada en la abertura. Las longitudes de onda del sonido audible están entre 3 cm y 12 m, y son habitualmente grandes comparadas con los obstáculos y aberturas (por ejemplo puertas o ventanas), por lo que la desviación de las ondas rodeando las esquinas es un fenómeno común.

2.1.4. Absorción

Consiste en la disminución de la energía sonora, debido a su disipación en forma de calor, al ser absorbida por el medio que atraviesa. Dicha variación de energía dependerá de la intensidad de la onda sonora, de la distancia recorrida y de las características del medio, que se definen con un coeficiente de absorción. Así, tendremos la absorción debida al aire, a los materiales usados en las paredes y en los objetos presentes en el recinto, y a las personas que se encuentren dentro de la sala.

2.1.5. Difusión

Según las teorías clásicas, la difusión es el efecto de redistribuir espacialmente la energía acústica que incide sobre una superficie. Recientemente se advirtió que este concepto describe en forma incompleta el funcionamiento de un difusor debido a la existencia de redistribución temporal en cierto tipo de difusores desarrollados para optimización de acondicionamientos acústicos. En el 1^{er} Congreso Latinoamericano de AES se presentó una definición más completa del fenómeno de la difusión: “es el efecto de diseminar la energía acústica incidente sobre una superficie en el espacio y en el tiempo”.

2.2. PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN UN RECINTO CERRADO

Para analizar el comportamiento del sonido en el interior de una sala, partimos de una fuente puntual omnidireccional (radia por igual en todas las direcciones), que emite un impulso (sonido intenso y de corta duración). Inicialmente, el sonido se propaga hasta que choca con las paredes límite y otros objetos que obstaculizan su camino.

2.1.1. SONIDO REFLEJADO

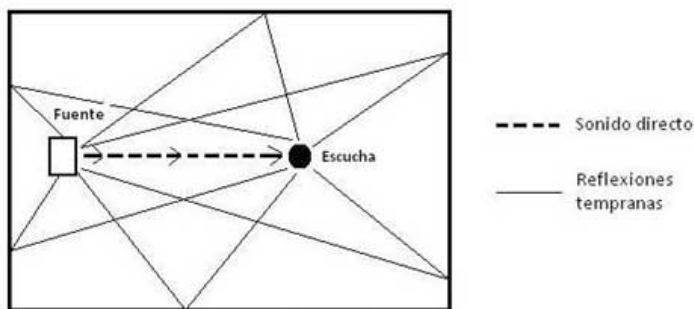


Fig.2.1 Sonido directo y primeras reflexiones.

La energía radiada por una fuente sonora en un recinto cerrado llega a un oyente ubicado en un punto cualquiera del mismo de dos formas diferentes: una parte de la energía llega de forma directa (sonido directo), es decir, como si fuente y receptor estuviesen en el espacio libre, mientras que la otra parte lo hace de forma indirecta (sonido reflejado), al ir asociada a las sucesivas reflexiones que sufre la onda sonora cuando incide sobre las diferentes superficies del recinto. En un punto cualquiera del recinto, la energía correspondiente al sonido directo depende exclusivamente de la distancia a la fuente sonora, mientras que la energía asociada a cada reflexión depende del camino recorrido por el rayo sonoro, así como del grado de absorción acústica de los materiales utilizados como revestimientos de las superficies implicadas. Lógicamente, cuanto mayor sea la distancia recorrida y más absorbentes sean los materiales empleados, menor será la energía asociada a las sucesivas reflexiones. Al analizar la evolución temporal del sonido reflejado en un punto cualquiera del recinto objeto del estudio, se observan básicamente dos zonas de características notablemente diferentes: una primera zona que engloba todas aquellas reflexiones que llegan inmediatamente después del sonido directo, y que reciben el nombre de primeras reflexiones o reflexiones tempranas (early reflections), y una segunda formada por reflexiones tardías que constituyen la denominada cola reverberante.

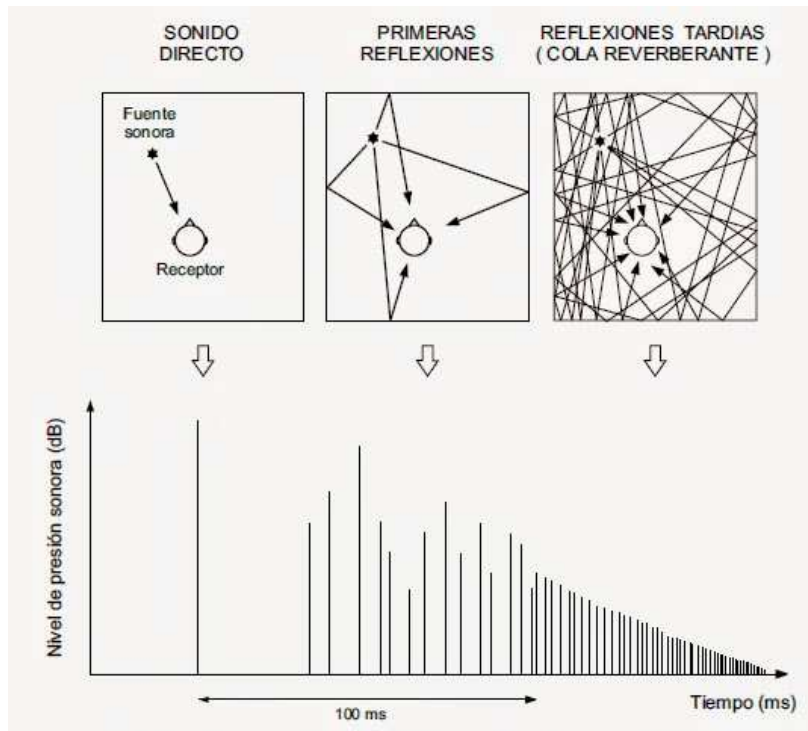


Fig. 2.2 Esquema de la llegada de diferentes rayos y ecograma

Si bien la llegada de reflexiones al punto en cuestión se produce de forma continua, y por tanto sin cambios bruscos, también es cierto que las primeras reflexiones llega de forma más discretizada que las tardías, debido a que se trata de reflexiones de orden bajo (habitualmente, orden inferior a 3). Se dice que una reflexión es de orden "n" cuando el rayo sonoro asociado ha incidido "n" veces sobre las diferentes superficies del recinto antes de llegar al receptor. Desde un punto de vista práctico, se suele establecer un límite temporal para la zona de primeras reflexiones de aproximadamente 100 ms desde la llegada del sonido directo, aunque dicho valor varía en cada caso concreto en función de la forma y del volumen del recinto. La representación gráfica temporal de la llegada de las diversas reflexiones, acompañadas de su nivel energético correspondiente, se denomina ecograma o reflectograma. En la figura se representa de forma esquemática la llegada de los diferentes rayos sonoros a un receptor junto con el ecograma asociado, con indicación del sonido directo, la zona de primeras reflexiones y la zona de reflexiones tardías (cola reverberante).

2.2.2. ESTUDIO DE LAS PRIMERAS REFLEXIONES

En general, las primeras reflexiones presenta un nivel energético mayor que las correspondientes a la cola reverberante, ya que son de un orden más bajo. Además, por el hecho de depender directamente de las formas geométricas de la sala, son específicas de

cada punto, y por tanto, determinan las características acústicas propias del mismo, juntamente con el sonido directo.

El análisis acústico basado en la hipótesis de reflexión especular constituye la base de la denominada acústica geométrica. Evidentemente, dicho análisis no es más que una aproximación a la realidad, ya que sólo en determinadas circunstancias la hipótesis especular es totalmente veraz.

Para que en la práctica se produzca una reflexión marcadamente especular es necesario que se cumplan los siguiente requisitos, por lo que a la superficie de reflexión se refiere:

- Dimensiones grandes en comparación con la longitud de onda del sonido en consideración.
- Superficie lisa y muy reflectante (poco absorbente).

En el caso de que las dimensiones sean menores o similares a la longitud de onda del sonido, la onda sonora rodea la superficie y sigue propagándose como si el obstáculo que representa la misma no existiese. Dicho fenómeno se conoce con el nombre de difracción. Si la superficie presenta irregularidades de dimensiones comparables con la longitud de onda, se produce una reflexión de la onda incidente en múltiples direcciones. Dicho fenómeno se conoce con el nombre de difusión del sonido.

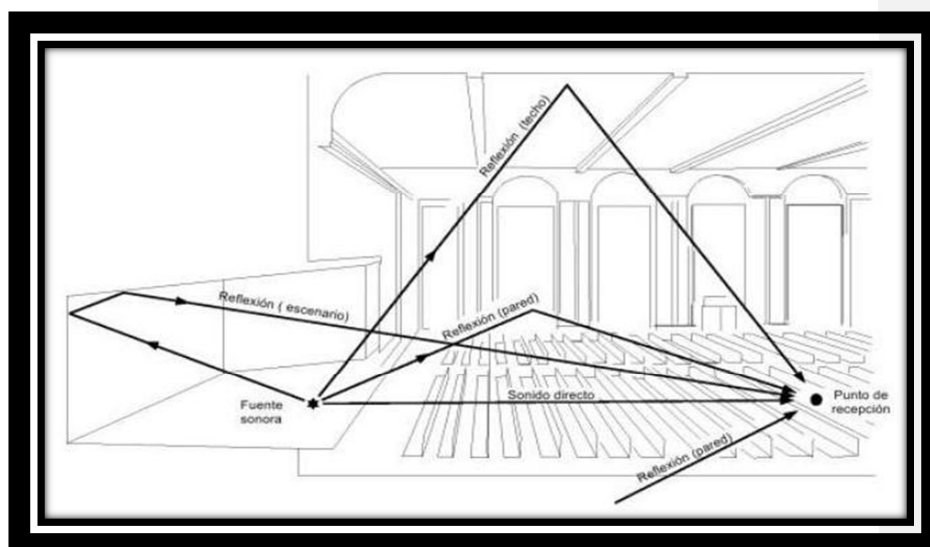


Fig. 2.3 Primeras reflexiones y sonido directo en un recinto acústico.

Por otro lado, como se ha comentado anteriormente, la cola reverberante está formada por las reflexiones tardías (por regla general, se consideran las reflexiones de orden superior a 3). Debido a que la densidad temporal de reflexiones en un punto cualquiera de un recinto cerrado

aumenta de forma cuadrática con el tiempo, existe una gran concentración de dichas reflexiones en cualquier punto de recepción y, además, sus características son prácticamente iguales con independencia del punto considerado. Es por ello que el estudio de la cola reverberante se efectúa siempre mediante criterios basados en la denominada acústica estadística, en lugar de la acústica geométrica. A título de ejemplo, en un auditorio de tamaño medio un oyente recibe alrededor de 8.000 reflexiones en el primer segundo después de la llegada del sonido directo. De todas formas, debido a que el oído humano es incapaz de discriminar la llegada discreta de todas y cada una de las reflexiones, lo que generalmente se percibe es un sonido continuo. Sólo en 18 determinados casos es posible percibir individualmente una o varias reflexiones. Para ello es necesario que su nivel y retardo respecto al sonido directo sean significativos, como se verá a continuación.

2.2.3. ECO

El eco es un fenómeno consistente en escuchar un sonido después de haberse extinguido la sensación producida por la onda sonora. Se produce eco cuando la onda sonora se refleja perpendicularmente en una pared. Todas aquellas reflexiones que llegan a un oyente dentro de los primeros 50 ms desde la llegada del sonido directo son integradas por el oído humano y, en consecuencia, su percepción no es diferenciada respecto al sonido directo. Esto es bueno a la hora de transmitir un mensaje oral ya que eleva su inteligibilidad y las reflexiones aumentan la sensación de sonoridad. Por el contrario, la aparición en un punto de escucha de una reflexión de nivel elevado con un retardo superior a los 50 ms es totalmente contraproducente para la obtención de una buena inteligibilidad de la palabra, ya que es percibida como una repetición del sonido directo. En tal caso, dicha reflexión se denomina eco. El retardo de 50 ms equivale a una diferencia de caminos entre el sonido directo y la reflexión de, aproximadamente, 17 m.

2.2.3.1. ECO FLOTANTE

El eco flotante ("flutter echo") consiste en una repetición múltiple, en un breve intervalo de tiempo, de un sonido generado por una fuente sonora, y aparece cuando ésta se sitúa entre dos superficies paralelas, lisas y muy reflectantes. Produce la recepción del sonido en tiempos iguales interfiriendo con la inteligibilidad del sonido directo. Nuestro cerebro interpreta estas rápidas y continuas frecuencias como un tono particular. Los problemas más comunes por éste fenómeno son la pérdida de imagen estéreo del sonido, fatiga auditiva, sonido metálico y sonido opacado por mucha reverberación.

2.2.4 MODOS PROPIOS DE UNA SALA

Dentro del campo de la Acústica ondulatoria, recibe el nombre de modo propio aquella onda estacionaria generada en el interior de un determinado espacio, por ejemplo una sala o habitación. Este tipo de interferencias, ya sean constructivas (suma) o destructivas (cancelación), vienen dadas por la interacción entre las ondas incidentes y reflejadas dentro del recinto. Así mismo, cada modo propio está asociado a una frecuencia (denominada frecuencia propia) y nivel de presión sonora específicos en función del punto a considerar, de forma que si la distancia entre dos paredes paralelas dentro de una sala es igual a la longitud de onda de una determinada frecuencia (o múltiplo de ella), podremos decir que ésta se trata de un modo propio y que, por tanto, permanecerá estacionaria reflejándose entre las dos superficies paralelas, perdiendo paulatinamente energía acústica. Esta clase de ondas estacionarias suponen un importante problema a tener en cuenta, especialmente en recintos

destinados al uso de la palabra y del sonido en general (salones de conferencia, salas de conciertos, estudios de grabación musical, salas de cine...) donde pueden llegar a ocasionar una notable pérdida en la inteligibilidad de la palabra y en la calidad acústica del recinto. Pese a que la existencia de modos propios es inevitable, éstos pueden ser distribuidos de manera uniforme a lo largo de todo el espectro de frecuencias audibles de manera que no supongan una deficiencia en la escucha. Para ello es necesario seleccionar una relación adecuada entre las dimensiones de la sala o recinto en cuestión a fin de evitar la concentración de energía en bandas estrechas de frecuencias o, lo que es lo mismo, la coloración excesiva del sonido.

2.2.5. NIVEL DE PRESIÓN SONORA

El nivel de presión sonora (o SPL, Sound Pressure Level en inglés) determina la intensidad del sonido que genera una presión sonora instantánea (es decir, del sonido que alcanza a una persona en un momento dado), se mide en dB y varía entre 0 dB (umbral de audición) y 140 dB (umbral de dolor). Se adopta una escala logarítmica y se utiliza como unidad el decibelio. Como el decibelio es adimensional y relativo, para medir valores absolutos se necesita especificar a qué unidades está referida. En el caso del nivel de presión sonora (el dB SPL toma como unidad de referencia 20 μ Pa).

$$L_P = 20 \cdot \log \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

en donde

- P es la presión sonora instantánea.
- P₀ es la presión de referencia y se toma como referencia la presión sonora en el umbral de audición, que son 20 μ Pa.

2.2.6. BALANCE ENERGÉTICO SONORO

Cuando una fuente sonora radia energía de forma continua, una vez transcurrido un periodo de tiempo transitorio, se alcanza un estado de equilibrio caracterizado por el hecho de que la absorción acústica producida por las superficies del recinto se iguala con el aporte energético de la fuente.

El aporte constante de energía por parte de la fuente sonora hace que la energía total recibida en cualquier punto de la sala, obtenida como suma de la directa y la indirecta o reflejada, vaya aumentando progresivamente hasta alcanzar el mencionado punto de equilibrio.

El proceso es reversible de tal manera que en cuanto la fuente sonora se detiene bruscamente, el nivel de presión sonora empieza a disminuir progresivamente hasta desaparecer o confundirse con el ruido de fondo de la sala.

Durante el primer transitorio, la energía sonora presente en la sala empieza a aumentar progresivamente, debido al aporte directo de la fuente y de las reflexiones. Se alcanza el régimen permanente cuando se iguala la absorción de la sala con la energía procedente de la fuente, permaneciendo en él hasta que se apaga la fuente. En el segundo transitorio, la energía

sonora decae primero, al desaparecer el sonido. La rapidez en la atenuación del sonido depende del grado de absorción de las superficies del recinto: a mayor absorción, atenuación más rápida. El grado de permanencia del sonido una vez que la fuente sonora se ha desconectado se denomina reverberación. Por lo tanto, la reverberación de una sala es mayor cuanto más tarda el sonido en atenuarse, es decir, cuanto menos absorbente es el recinto.

2.3 MATERIALES Y ELEMENTOS UTILIZADOS EN EL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DE RECINTOS

Dentro de los recintos cerrados, es fundamental conseguir un equilibrio adecuado entre el sonido directo y el campo sonoro reverberante. Por ello, un adecuado acondicionamiento acústico implica que las ondas reflejadas sean las menos posibles, por lo que desempeña un papel la capacidad de absorción de los materiales absorbentes que minimizaran las reverberaciones indeseadas o ecos que pueden dificultar la inteligibilidad de la comunicación sonora.

2.3.1. Materiales absorbentes

Aunque todos los materiales tienen asociada una determinada capacidad de absorción, como pueden ser: los materiales básicos de las paredes, techos y suelos, las superficies vibrantes como ventanas, puertas o tabiques separadores, el público y las sillas, etc., se denominan materiales absorbentes a aquellos usados específicamente como revestimiento del interior de un recinto, para aumentar la absorción del sonido con al menos uno de los siguientes objetivos:

- Reducir el nivel del campo reverberante, en ambientes excesivamente ruidosos.
- Optimizar el tiempo de reverberación según la aplicación a la que se dedique el recinto.
- Eliminar o prevenir la aparición de ecos. Además, estos materiales, al absorber la energía sonora incidente, mejoran los resultados de los materiales propiamente aislantes. Generalmente, son materiales porosos de estructura fibrosa o granular, constituidos básicamente de lana de vidrio, lana mineral, espuma a base de resina de melamina o espuma de poliuretano.

El mecanismo de absorción es el siguiente: Cuando la onda sonora incide sobre estos materiales, una parte de la energía es reflejada y el resto penetra en su interior, a través de sus poros. Una vez dentro, la presión sonora pone en movimiento las partículas de aire que se encuentran en los espacios huecos del material. Este flujo de aire interno es el responsable de la disipación de la energía sonora en forma de calor, debido al rozamiento con las capas sólidas del material. Cuantas más veces se haga pasar la onda sonora a través de estos materiales, mayor será la atenuación que experimente. Por eso, se suelen colocar sobre las paredes limítrofes del recinto que se pretende acondicionar. Así, la porción de energía que atraviesa completamente el material, es reflejada hacia el mismo por la pared interior, donde nuevamente es absorbida. La capacidad de absorción de estos materiales porosos se mide por medio del denominado coeficiente de absorción, α , que mide la relación entre la energía absorbida y la incidente. Suelen ser proporcionados por el fabricante de dichos materiales para las 6 bandas de octava: 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz y, a veces, también para las bandas centradas en 63 y 8000 Hz. Vemos, pues, que α depende de la frecuencia.

Generalmente, en los materiales suele aumentar con la misma de modo que, según sean nuestras necesidades de absorción, deberemos seleccionar uno u otro material.

2.3.2. Resonadores

Los resonadores son absorbentes selectivos, cuyo coeficiente de absorción presenta un máximo en la denominada frecuencia de resonancia. Dicha frecuencia estará determinada por la estructura y las propiedades de los materiales que componen el resonador. Su uso permite recortar la respuesta de la sala en determinadas frecuencias para reducir su tiempo de reverberación. Aunque es habitual utilizarlos como complemento de los materiales absorbentes, con el fin de lograr un mayor aumento de la absorción en bajas frecuencias (≤ 500 Hz). Podemos distinguir 4 tipos de resonadores:

- De membrana o diafragmático.

Es una cavidad formada por un panel no poroso pero flexible, como la madera, colocado a una distancia d de una pared rígida.

Dicha cavidad, generalmente ocupada por aire, permite que el panel vibre cuando la onda sonora incide sobre él. De este modo, la energía reflejada es menor que si incidiese directamente sobre la pared, puesto que parte de ella se disipa en forma de calor, como consecuencia de la vibración generada. La frecuencia a la que la vibración es máxima, se denomina frecuencia de resonancia f_0 y es específica de cada resonador. Se ha comprobado que la variación de la absorción con la frecuencia tiene forma de campana de Gauss centrada en f_0 . Según las características del material que ocupa la cavidad ($\rho_0 c$) y la resistencia del panel al flujo de aire (r_s = relación entre la diferencia de niveles a ambos lados del panel y la velocidad del flujo que lo atraviesa), tendremos una campana de Gauss más o menos estrecha:

$r_s < \rho_0 c$	Curva estrecha $\alpha < 1$
$r_s = \rho_0 c$	Curva óptima $\alpha = 1$
$r_s > \rho_0 c$	Curva ancha $\alpha < 1$

Tabla 2.1

Una forma de aumentar r_s es añadir a la cavidad un material absorbente. Sin embargo, su efecto diferirá según sea la relación inicial entre r_s y $\rho_0 c$.

– Si $r_s > \rho_0 c$ entonces el material absorbente hace que la curva de absorción se ensanche, siendo menos selectiva en frecuencia y disminuyendo el coeficiente de absorción máximo, centrado en la frecuencia de resonancia. Por último mencionar que dado que los materiales de absorción suelen ser recubiertos por materiales protectores, en caso de que éstos sean no porosos y flexibles, como el plástico o el papel, obtendremos un resonador de membrana.

- Simple de cavidad.

Es una cavidad, rellena de aire, que accede a la sala mediante una pequeña abertura. La masa de aire que se encuentra en el hueco de la pared está sometida a un diferencial de presión, cuando la onda sonora incide sobre ella, comportándose como el panel del resonador de membrana. Mientras que el aire contenido en la cavidad ofrece la resistencia que conduce a

la disipación de energía. Al igual que el resonador anterior, presenta una curva de absorción con un máximo en la frecuencia de resonancia, que generalmente se encuentra por debajo de 250 Hz. Si la cavidad está vacía, es decir, sólo contiene aire, su absorción es muy selectiva en frecuencia. Sin embargo, si se rellena con algún material absorbente, la curva de absorción se suaviza, aumentando la absorción en un rango de frecuencias más amplio, a costa de tener una menor absorción en la frecuencia de resonancia. Su aplicación es la misma que la del resonador de membrana: aumentar la absorción en una determinada banda de bajas frecuencias. Pero, dado que la superficie que ocupa es demasiado pequeña en comparación con el espacio que debe tratarse (paredes o techos), es habitual colocar una sucesión de resonadores simples de cavidad en serie, distribuidos sobre la superficie cuya absorción pretende aumentarse. En la siguiente figura se aprecia un ejemplo de este tipo de resonador.

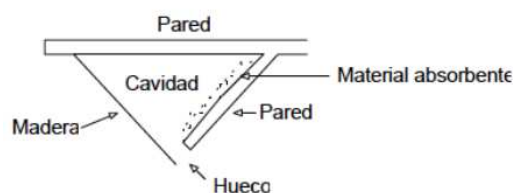


Fig. 2.4 Resonador simple de cavidad.

Su forma permite, además de aumentar la absorción en bajas frecuencias, mejorar la difusión del sonido incrementando las reflexiones en distintas direcciones. También, suele utilizarse para eliminar los modos propios de la sala, evitando así el efecto de la coloración del sonido.

- Múltiple de cavidad a partir de paneles perforados o ranurados.

Se forma, al igual que el resonador de membrana, colocando un panel no poroso a una distancia d de la pared, quedando entre ambos una cavidad rellena de aire. La diferencia radica en que el panel ahora es rígido y presenta una serie de perforaciones circulares o de ranuras (rectangulares). Se suele escoger como material para el panel: madera, cartón-yeso, chapa metálica o ladrillo. Debido a la presencia de estas ranuras, también puede verse como una agrupación de resonadores simples de cavidad, acoplados entre sí. Así que, aunque sigue comportándose como un resonador, con máxima absorción a la frecuencia de resonancia, es menos selectivo que el resonador simple, por causa del acoplamiento entre cavidades. Una forma de aumentar la absorción que se produce en el resonador, es introducir en la cavidad un material absorbente. Éste, hará aumentar la absorción para todas las frecuencias, pero reducirá la frecuencia de absorción. También el lugar donde coloquemos este material absorbente va a influir en la forma de la curva de absorción del resonador. Así, si lo ponemos justo detrás del panel perforado, la curva será amplia y se irá estrechando a medida que acercamos el material absorbente a la pared rígida. Por último, destacar que para un funcionamiento eficaz como resonador, la distancia d a la pared debe ser constante y las perforaciones o 35 ranuras tienen que estar uniformemente distribuidas a lo largo del panel. Si d fuese variable o la distribución de los agujeros no uniforme o el porcentaje de éstos aumentase excesivamente, su comportamiento se parecería más al de un material absorbente. Es una variante del resonador múltiple Helmholtz basado en paneles perforados o ranurados. La diferencia radica en que ahora los huecos por los que penetra la onda sonora se encuentran entre listones sucesivos.

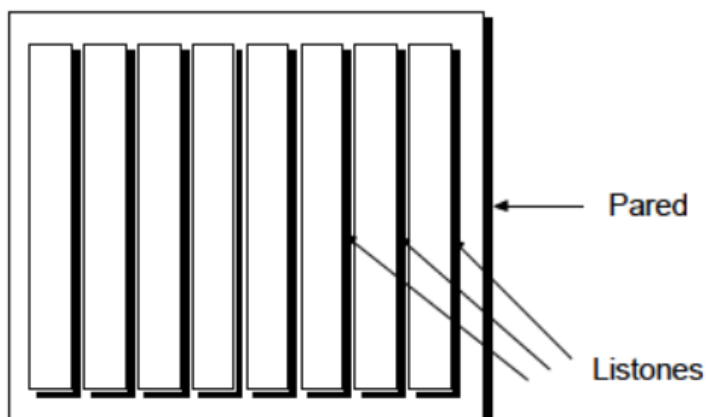


Fig. 2.5 Resonador múltiple de cavidad a partir de paneles ranurados

Este resonador también presenta en su curva de absorción un máximo a la frecuencia de resonancia. Y sigue el mismo comportamiento que el resonador de paneles perforados.

- Múltiple de cavidad a base de listones.

Es una cavidad formada por un panel no poroso, pero flexible, como la madera, colocado a una distancia d de una pared rígida.

2.3.3. Reflectores

Aunque todos los elementos son susceptibles de sufrir reflexión en menor o mayor grado dependiendo de su coeficiente de absorción (mayor reflexión \Leftrightarrow menor absorción), se denominan reflectores a aquellos elementos específicamente diseñados para generar reflexiones orientadas hacia las zonas del público que necesitan ser reforzadas. Se caracterizan por ser lisos, rígidos y no porosos, de modo que su coeficiente de absorción es mínimo (idealmente $\alpha=0$).

Estas características hacen que la mayor parte de la energía sonora que incide sobre ellos se refleje concentrada en la dirección especular. Su objetivo fundamental es aumentar la presencia de reflexiones útiles destinadas al público. Entendemos por reflexiones útiles aquellas primeras reflexiones que llegan después del sonido directo y que son integradas con el mismo por el oído.

En el caso de salas destinadas a la palabra, sólo se consideran los primeros 50 ms y una riqueza de primeras reflexiones implicará una inteligibilidad y sonoridad altas.

Durante el diseño de un elemento reflector para acondicionar una sala, tendremos que tener presente:

- El fenómeno de difracción inherente a su tamaño limitado.
- La aparición de anomalías que perjudican la calidad acústica final de la sala: ecos, focalizaciones, coloración del sonido, etc.

La difracción es especialmente notoria en bajas frecuencias, donde el reflector corre el riesgo de tener unas dimensiones inferiores a la longitud de onda de modo que el sonido lo bordeará como si no existiese. Respecto a las anomalías mencionadas, pueden aparecer si el nivel del sonido reflejado es demasiado alto. Este problema se soluciona consiguiendo una buena difusión del sonido en la sala.

Podemos distinguir dos tipos de reflectores:

a) Reflectores planos:

Este tipo de reflectores es el que utilizamos en la simulación de las aulas nuevas. En ellas distinguimos dos situaciones distintas:

1º) Aplicando sólo un reflector de primer orden.

2º) Reforzando al reflector de primer orden con uno de segundo orden.

El procedimiento seguido para su obtención es el siguiente:

Partimos de una fuente de altura h_f . En primer lugar, se calcula la fuente imagen de primer orden. Para ello se traza desde la fuente, una perpendicular al techo, y el punto que está del otro lado del techo, a la misma distancia del techo que la fuente (d), es la fuente imagen. Ahora dibujamos dos rayos desde la fuente imagen hasta los límites de la zona del público, cuya calidad acústica queremos mejorar. Los puntos de intersección de estas dos rectas con el techo definen el reflector a-b de primer orden.

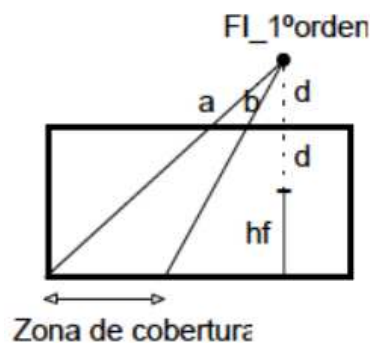


Fig. 2.6 Reflector plano

b) Reflector de segundo orden:

Para calcular el reflector de segundo orden, tenemos que obtener la fuente imagen de segundo orden. Inicialmente, se dibuja una fuente paralela a la original, al otro lado de la pared y con su misma altura. A continuación, se prolonga desde esta fuente imaginaria, una perpendicular al techo. De nuevo, el punto equidistante (distancia d) al techo es la fuente imagen, en este caso, de segundo orden.

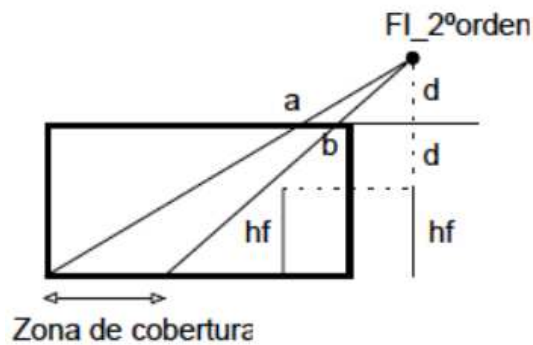


Fig. 2.7 Reflector de segundo orden

Emitiendo dos rayos desde esta fuente imagen hasta los extremos de la zona que queremos mejorar, encontramos los puntos que definen al reflector de segundo orden a-b. En ambos casos, al diseñar el reflector se deben considerar los efectos de difracción que aparecerán debido a sus limitadas dimensiones. En consecuencia, la variación respecto a la frecuencia será la siguiente:

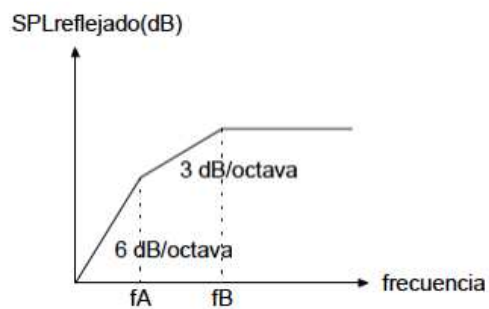


Fig. 2.8 Variación Nivel de Presión Sonora en función de la frecuencia.

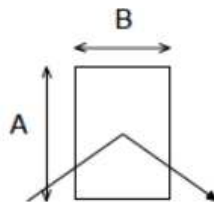
Donde:

$$f_A = \frac{c}{\left[\frac{1}{s} + \frac{1}{r} \right] \cdot B^2 \cdot \cos^2(\theta)} \quad (\text{Hz})$$

$$f_B = \frac{c}{\left[\frac{1}{s} + \frac{1}{r} \right] \cdot A^2} \quad (\text{Hz})$$

siendo:

- s: distancia de la fuente al centro del reflector (m).
 r: distancia del receptor al centro del reflector (m).
 A: longitud del reflector (m).
 B: anchura del reflector (m).
 θ : ángulo de incidencia y de reflexión sobre el reflector.
 C: velocidad del sonido (345 m/s a 22°C).



Por tanto, sólo para frecuencias superiores a f_B , el reflector se comporta de forma óptima. Dado que interesa que el reflector se comporte como tal en el mayor rango de frecuencias posible, es conveniente reducir las frecuencias f_A y f_B . De la observación de sus expresiones se deduce que éstas disminuirán cuando decrece la distancia entre el reflector y los receptores o cuando el ángulo de incidencia θ es pequeño. También se consigue reducir f_A y f_B aumentando las dimensiones del reflector (A y B). Por tanto, interesan reflectores próximos al público, lo que ya conlleva reflectores de tamaños considerables, puesto que el público suele ocupar un área grande. Sin embargo, reflectores de dimensiones excesivamente grandes tienen la desventaja de que pueden aparecer anomalías (coloración del sonido, ambigüedad en la localización de la fuente, etc.), como consecuencia de la aparición de reflexiones de gran nivel, incluso de nivel superior al del sonido directo. En la práctica, un método de diseño es hacer que f_B sea menor que 500 Hz, para que la respuesta del reflector sea plana en frecuencias medias y altas.

c) Reflectores curvos:

La cobertura del reflector curvo es bastante mayor que la del plano. En consecuencia, la difusión del sonido es mayor y el nivel de las reflexiones añadidas disminuye, evitando, por tanto, la aparición de las anomalías mencionadas para el reflector plano. En la práctica, se consigue un óptimo funcionamiento diseñando un reflector convexo con radio de curvatura mayor que 5 m. Si el radio es menor, se comportará como difusor en vez de como reflector. La elección de la forma convexa en lugar de cóncava es porque las superficies cóncavas tienden a focalizar el sonido y en determinadas ocasiones pueden utilizarse como difusores.

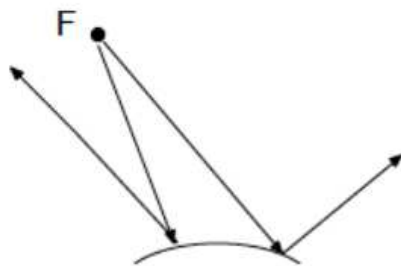


Fig. 2.9 Reflector curvo

2.3.4. Difusores

Se denominan difusores a aquellos elementos que reflejan el sonido uniformemente en todas las direcciones. Su aplicación está fundamentalmente destinada a salas de conciertos. 41 Con

ellos se consigue elevar el grado de espacialidad del sonido, con lo que la impresión de la calidad acústica del recinto mejora considerablemente. Un uso alternativo, válido para cualquier tipo de sala, es mejorar la difusión del sonido para eliminar anomalías acústicas como: ecos, coloraciones, focalizaciones, etc. Existen distintos elementos que funcionan como difusores del sonido:

- Superficies con adornos, relieves, irregularidades, huecos, rugosidades etc. Por ejemplo, techos artesonados (con paneles poligonales), estatuas, etc. Un caso particular es la zona ocupada por las sillas, con o sin espectadores, que presenta un alto grado de difusión, pero debido a su alta absorción no funciona como difusor.
- Difusores policilíndricos: conjunto de superficies lisas y convexas cuyo radio de curvatura es menor que 5 m. La zona de cobertura es mucho mayor que la de los reflectores convexas y el nivel de las reflexiones menor, por ese motivo funcionan como difusores.
- Difusores de Schroeder: superficies con irregularidades creadas según la teoría de los números de Schroeder. También se denominan RPG ("Reflection Phase Grating").

Todos ellos se comportan como difusores para un determinado rango de frecuencias, fijado por las dimensiones de las irregularidades. Para frecuencias bajas (longitud de onda alta), las reflexiones tienden a concentrarse en la dirección especular, porque para estas frecuencias las irregularidades son imperceptibles. Así que, según la frecuencia límite a partir de la cual queremos aumentar la difusión sonora, así deberán ser las dimensiones de las irregularidades.

Cuanto más grandes sean, más baja será la frecuencia límite. Entre los difusores Schroeder podemos distinguir tres tipos:

a) Difusores MLS ("Maximum Length Sequence"):

Estos difusores se forman a partir de una superficie lisa, reflectora, a la que se le practican una serie de ranuras. El tamaño y distribución de las ranuras dependerá de la frecuencia de diseño. Una vez establecida ésta:

1º) Se divide la superficie en tramos de anchura $W=\lambda/2$.

2º) Se genera una secuencia pseudoaleatoria periódica de máxima longitud. Dicha secuencia sólo contiene +1 o -1.

3º) Se asocia a cada tramo un número de la secuencia, del siguiente modo: +1 \Rightarrow Tramo inalterado. -1 \Rightarrow Tramo con ranura.

4º) Se hace la ranura, en los tramos que les corresponde, con profundidad $d=\lambda/4$. Estos difusores son poco utilizados actualmente y el rango de frecuencias donde se comportan óptimamente como tales, es la banda de octava que contiene la frecuencia de diseño.

b) Difusores QRD (Quadratic-Residue Diffusor):

Al igual que los difusores anteriores se forman a partir de una secuencia pseudoaleatoria periódica, pero en esta ocasión aplicada a la profundidad de los huecos.

Hay dos tipos de difusores QRD:

– Unidimensionales: Consisten en una agrupación de ranuras rectangulares de igual anchura, pero distinta profundidad, separadas por láminas rígidas y delgadas. Su orientación determina la dirección de máxima difusión: la orientación horizontal (vertical) crea difusión en el plano vertical (horizontal). Su comportamiento como difusor está comprendido en un margen determinado de frecuencias, fuera del cual tiende a reflejar el sonido en la dirección especular. La frecuencia mínima es establecida por la profundidad, siendo menor para una mayor

profundidad. La frecuencia máxima es fijada por la anchura de las ranuras, aumentando al disminuir ésta. Son los más utilizados.

– Bidimensionales: Consigue una difusión más uniforme en todas las direcciones al agrupar los dos tipos de difusores unidimensionales (vertical y horizontal) en uno. Básicamente consiste en una cuadrícula (la forma de los huecos puede ser distinta al cuadrado, aunque ésta es la habitual), con huecos de distinta profundidad.

3. PARÁMETROS ACÚSTICOS PARA LA EVALUACIÓN ACÚSTICA DE LAS SALAS

Para el estudio de las propiedades acústicas de una sala y la obtención de sus cualidades subjetivas, así como para poder valorar si las características del recinto son las adecuadas para el tipo de actividad que se va a desarrollar en él, los investigadores estudiaron parámetros acústicos diferentes para su posterior evaluación y comparación basándose en unos valores recomendados que se obtuvieron siguiendo un procedimiento empírico.

Haciendo uso del método de la respuesta impulsiva se podrán obtener los diferentes parámetros acústicos que derivan de esta.

El tiempo de reverberación está considerado como un parámetro fundamental que proporciona una descripción del carácter acústico de un auditorio o recinto, pero con los valores asociados a los demás parámetros obtenidos a partir de la respuesta de impulso, se logrará una descripción más detallada del carácter acústico de una sala.

3.1. CRITERIO TEMPORAL

A partir del análisis de la curva sonora o curva de decaimiento energético, se han estudiado diferentes parámetros que pueden correlacionarse óptimamente con la impresión subjetiva, medidos en diferentes salas y ensayados en modelos computacionales y en auditorios reales. Cuantifican el grado de viveza de la sala y estudiaremos dos: El tiempo de reverberación (T) y Early Decay Time (EDT). Otras cualidades acústicas fundamentales que se cuantifican a partir de los valores del tiempo de reverberación que también estudiaremos en este grupo son la Calidez (Bass Ratio, BR) y el Brillo (Br) que cuantifican la respuesta de la sala en bajas frecuencias y la riqueza en armónicos respectivamente.

3.1.1. TIEMPO DE REVERBERACIÓN.

Subjetivamente, el tiempo de reverberación se interpreta como el tiempo de persistencia de un sonido en un recinto hasta hacerse inaudible. Técnicamente, el tiempo de reverberación a una frecuencia determinada es el tiempo (en segundos) que transcurre desde que el foco emisor se detiene hasta el momento en que el nivel de presión sonora SPL cae 60 dB con respecto a su valor inicial. Se pueden clasificar los recintos en función de su grado de “viveza”:

-Recinto “vivo”: Recintos con un tiempo de reverberación (T) grande. (Nave industrial, iglesias...).

-Recinto “apagado” o “sordo”: Recintos con un tiempo de reverberación (T) pequeño. (Locutorios, estudios de grabación...).

Se puede también evaluar el T basándose en un rango dinámico inferior a 60 dB y extrapolando a un tiempo de decrecimiento de 60 dB. Si el T se deriva del tiempo en que la curva de decrecimiento alcanza primero 5 dB y 25 dB por debajo del nivel inicial, adquiere el nombre de T20. Si se utilizan valores de decrecimiento de entre 5 dB y 35 dB por debajo del nivel inicial se denomina T30.

El tiempo de reverberación varía con la frecuencia, tendiendo a disminuir a medida que ésta aumenta. Ello es debido, en parte, a las características de mayor absorción con la frecuencia de los materiales comúnmente empleados como revestimientos, así como a la absorción del aire, especialmente manifiesta en recintos grandes y a altas frecuencias. En general, añadir material acústico absorbente en un recinto reduce el nivel de presión acústica de las ondas reflejadas y también disminuye el tiempo que tarda en desaparecer el sonido desde que la fuente deja de emitir, es decir, el tiempo de reverberación.

- Cálculo del tiempo de reverberación:

En 1898 W.C. Sabine propuso la primera ecuación que permitía calcular el tiempo de reverberación en un recinto. Consiste en relacionar el volumen de la sala (V) y la absorción total (A) con el tiempo que tarda el sonido en disminuir 60 dB en intensidad, a partir de que se apaga la fuente sonora. La correspondiente expresión matemática, obtenida aplicando la teoría acústica estadística y despreciando el efecto de la absorción producida por el aire, es la siguiente:

$$T = 0,161 \frac{V}{A_{\text{tot}}} \quad (\text{en segundos})$$

Donde,

V es el volumen de la sala (m³)

A_{tot} es la absorción total del recinto (en Sabine).

Se define Absorción total de un recinto (A_{tot}) ya que un recinto está formado por diferentes superficies como la suma de todas las absorciones individuales:

$$A_{\text{tot}} = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n$$

Donde α es el coeficiente de absorción de un material y se define como la relación entre la energía absorbida por un material y energía incidente por el mismo.

$$\alpha = \frac{\text{Energía absorbida}}{\text{Energía incidente}}$$

Sus valores están comprendidos entre 0 (correspondiente a un material totalmente reflectante) y 1 (caso de absorción total). El valor de α está directamente relacionado con las propiedades físicas del material y varía con la frecuencia. En cuanto a la denominada absorción A de un material cualquiera, ésta se obtiene como resultado de multiplicar su coeficiente de absorción α por su superficie S .

Existen las formulaciones de Eyring y Norris, Millington y Sette, Fitzroy y muchos más investigadores que han propuesto fórmulas más elaboradas que la de Sabine. Más actuales son las fórmulas del cálculo del tiempo de reverberación de Higini Arau Puchades. Hasta la llegada de estas propuestas, el cálculo del tiempo de reverberación necesitaba:

- Distribución uniforme y campo difuso en todos los puntos del recinto.
- Igual probabilidad de propagación en todas las direcciones.
- Absorción continua y constante en todos los puntos e instantes del recinto.

La fórmula de Arau-Puchades es capaz de calcularlo considerando una distribución asimétrica de la absorción en una sala.

La expresión matemática del tiempo de reverberación formulada por Eyring es la siguiente, aplicable cuando los coeficientes de absorción sonora son de valores numéricos parecidos en todas las superficies límites:

$$T = \frac{0,161 V}{-\ln(1-\bar{\alpha}) S_{\text{tot}} + 4mV} \quad (\text{en s})$$

Donde,

V es el volumen de la sala (m^3).

S_{tot} es la superficie total del recinto (m^2).

m es la constante de atenuación del sonido en el aire (m^{-1}).

Y por último, la fórmula de Arau-Puchades:

$$T = \left(\frac{0,161V}{S\alpha_x} \right)^{S_x/S} \left(\frac{0,161V}{S\alpha_y} \right)^{S_y/S} \left(\frac{0,161V}{S\alpha_z} \right)^{S_z/S}$$

Donde,

V es el volumen de la sala (m^3).

S es el área total de la superficie de la sala (m^2).

S_x es el área de la superficie suelo más techo.

S_y es el área de la superficie pared lateral izquierda más pared lateral derecha.

S_z es el área de la pared frontal más la del fondo.

Valores recomendados del tiempo de reverberación

TIPO DE SALA	RT_{med} , SALA OCUPADA (EN S)
Sala de conferencias	0,7 – 1,0
Cine	1,0 – 1,2
Sala polivalente	1,2 – 1,5
Teatro de ópera	1,2 – 1,5
Sala de conciertos (música de cámara)	1,3 – 1,7
Sala de conciertos (música sinfónica)	1,8 – 2,0
Iglesia/catedral (órgano y canto coral)	2,0 – 3,0
Locutorio de radio	0,2 – 0,4

Tabla 3.1. Valores recomendados del tiempo de reverberación.

Donde T_{mid} es la media aritmética de los valores correspondientes del tiempo de reverberación en las bandas de 500 Hz y 1000 Hz. Habitualmente, si se establece un único valor para el T, se suele referir a éste. En la tabla tenemos los márgenes de valores recomendados según el tipo de sala.

3.1.2. EDT

El parámetro EDT se define como seis veces el tiempo que transcurre desde que el foco emisor deja de radiar hasta que el nivel de presión sonora cae 10 dB.

Está más relacionado con la impresión subjetiva de viveza que el T usado tradicionalmente.

El decaimiento teórico de la energía sonora en una sala sigue una evolución exponencial, que se traduce en una línea recta al pasar a escala semi-logarítmica. Dicho decaimiento se produciría solamente en el caso hipotético de que existiese una perfecta difusión del sonido en el recinto producida por una geometría regular del mismo y por una distribución homogénea y uniforme de los materiales utilizados como revestimientos. En tal caso, el valor de EDT coincidiría con el de T.

En la práctica, el correspondiente valor del EDT puede variar significativamente del T debido a que la curva de decaimiento energético puede presentar en distintos puntos de la sala una doble pendiente como consecuencia de una falta de difusión perfecta. Por ejemplo, en las siguientes situaciones:

- Cuando hay dos recintos acoplados (podría ser escenario y audiencia como en los teatros de prosenio, o la sala y el recinto que se forma sobre los reflectores del techo).
- En recintos con balcones profundos.
- Cuando se está cerca de un resonador (ej. un instrumento de cuerda).
- Electro-acústicamente producido.

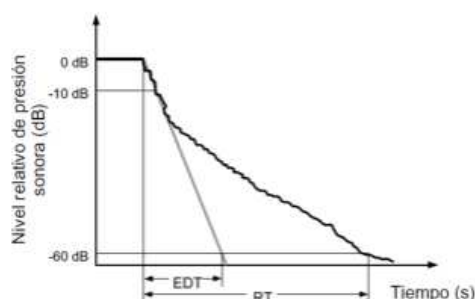


Fig. 3.1 Curva de energía- tiempo EDT medida en un punto del recinto

Esto significa que, en todos aquellos puntos de una sala con un EDT significativamente menor que el T , la sala resultará, desde un punto de vista subjetivo, más apagada de lo que se deduciría del valor de T . Con objeto de garantizar una buena difusión del sonido en una sala ocupada, es preciso que el valor medio de los EDT correspondientes a las bandas de 500 Hz y 1 kHz sea del mismo orden que T_{mid} : $EDT_{mid} \approx T_{mid}$.

Los valores recomendados para el EDT, según H.Arau, en el caso de teatros resulta adecuado que el valor del EDT_{mid} esté entre $0.6 T_{mid}$ y $0.75 T_{mid}$, para ópera entre $0.75 T_{mid}$ y $1 T_{mid}$, y para salas de concierto entre $0.9 T_{mid}$ y T_{mid} .

Valores óptimos de EDT	
Uso de la sala	EDT (s)
Teatro	$0.6 \cdot T_{mid} \leq EDT \leq 0.75 \cdot T_{mid}$
Ópera	$0.75 \cdot T_{mid} \leq EDT \leq 1 \cdot T_{mid}$
Sala de conciertos	$0.9 \cdot T_{mid} \leq EDT \leq 1 \cdot T_{mid}$

Tabla 3.2. Valores óptimos de EDT.

3.1.3. CALIDEZ (Bass Ratio, BR) Y BRILLO (Br)

El tiempo de reverberación no se relaciona únicamente con el grado de viveza de la sala sino también con la Calidad y Brillo de la misma. Dan una idea de respuesta de la sala a bajas y altas frecuencias. Las bajas frecuencias comprendidas entre 125 y 250 Hz son reconocidas por el cerebro como el cuerpo de la música y corresponden a los tonos propios de la voz masculina, el violonchelo, el fagot, etc. Por ello, si el efecto reverberante refuerza la percepción de esta banda, la impresión musical que predomina es la calidez, la riqueza en graves, melosidad y suavidad de la música. La Calidez (BR) representa la riqueza de la sala a bajas frecuencias. Como medida objetiva de la calidez, se suele utilizar la relación entre el valor medio del tiempo de reverberación T a frecuencias graves (125 Hz y 250 Hz), T_{low} , y el valor medio del T a frecuencias medias (500 Hz y 1 kHz), T_{mid} .

$$BR = \frac{RT_{125} + RT_{250}}{RT_{500} + RT_{1000}}$$

$$BR = \frac{RT_{low}}{RT_{mid}} (s)$$

Una sala cálida tendrá riqueza de graves y presentará dulzura y suavidad para la música. Las bandas de frecuencias entre 2000 y 4000 Hz corresponden a los armónicos más audibles y define el brillo, la claridad, la expresividad... A su vez, el timbre de los instrumentos musicales depende, en su casi totalidad, de esta banda de frecuencias. Dada la importancia que tienen estas frecuencias, se comprende que las calidades reverberantes del recinto deben reforzar la audición de los armónicos 2000 y 4000 Hz. El Brillo (Br) se obtiene como el cociente entre el valor medio del tiempo de Reverberación T_a frecuencias altas (2 KHz y 4 KHz), T_{high} , y el valor medio del T_a frecuencias medias (500 Hz y 1 KHz), T_{mid} .

$$Br = \frac{RT_{2000} + RT_{4000}}{RT_{500} + RT_{1000}}$$

$$Br = \frac{RT_{high}}{RT_{mid}} (s)$$

El término brillante es indicativo de que el sonido en la sala es claro y rico en armónicos.

Valores recomendados Calidez y Brillo

Valores óptimos Calidez (BR)			
Autor	Uso recinto (ocupado)	Calidez Recomendada (BR)	
L.L Beranek	Sala de conciertos	Si $T_{mid} = 2,2 \text{ s}$	$1,10 \leq BR \leq 1,25 \text{ s}$
		Si $T_{mid} = 1,8 \text{ s}$	$1,10 \leq BR \leq 1,45 \text{ s}$
Valores óptimos Brillo (Br)			
Autor		Brillo sala ocupada (Br)	
L.L Beranek		$Br \geq 0.87 \text{ s}$	

Tabla 3.3. Valores recomendados de Calidez (BR) y Brillo (Br).

Los valores recomendados para el parámetro BR para valores distintos de esos T_{mid} deberán hallarse por interpolación.

El criterio acústico para música es muy estricto indicando que la calidez valga 1,2 como valor óptimo; no obstante, para teatro puede valer desde 0,9 hasta 1,3 siendo bueno tender al valor 1,1. El valor de esta magnitud tiene que ser lo más alto posible, teniendo presente que es difícil que pueda llegar a 1 debido a la absorción del aire, pero intentando que no sea en ningún caso inferior a 0,8.

3.2. CRITERIO ENERGÉTICO

Estos parámetros relacionan energía temprana con energía tardía. Están asociados a las primeras reflexiones, la existencia de primeras reflexiones en un punto de la sala produce un aumento de inteligibilidad y sonoridad. Estudiaremos tres parámetros dentro de este grupo:

- Claridad de la voz (C50)
- Claridad musical (C80)
- Definición (D)

Cuanto mayor sea el valor de estos parámetros, más elevada será la inteligibilidad o sonoridad en el punto considerado.

3.2.1 CLARIDAD DE LA VOZ (C50)

La claridad de la voz C50 es un parámetro relacionado con la inteligibilidad del mensaje oral. Es la relación entre la energía del sonido que llega al oyente durante los primeros 50 ms desde la llegada del sonido directo, es decir, incluye el sonido directo y las primeras reflexiones, con las que llegan más tarde. Muestra el grado de separación entre los diferentes sonidos de un mensaje oral.

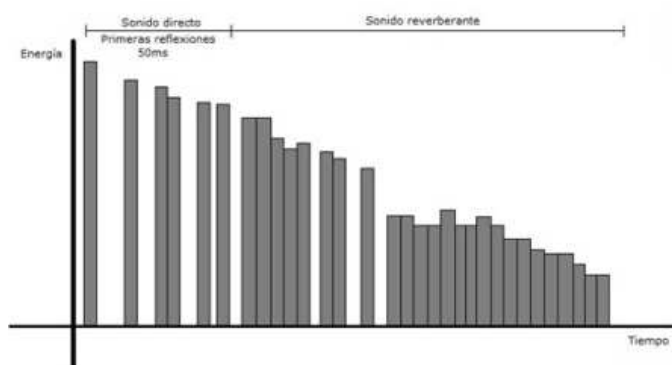


Fig. 3.2 Curva energía-tiempo ETC medida en un punto del recinto

Se calcula en cada banda de frecuencias entre 125 Hz y 4 KHz y se expresa de forma logarítmica.

$$C_{50} = \frac{\text{Energía hasta 50 ms}}{\text{Energía después 50 ms}} \text{ (dB)}$$

-“Speech average”: Según L.G. Marshall, un valor representativo del parámetro C50 se puede calcular como la media aritmética ponderada de los valores correspondientes a las bandas de 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz y 4 kHz. Los factores de ponderación son: 15%, 25%, 35% y 25%, respectivamente, de acuerdo con la contribución estadística aproximada de cada banda a la inteligibilidad de la palabra.

C50 (“speech average”) = 0,15 · C50(500 Hz) + 0,25 · C50(1 kHz) + 0,35 · C50(2 kHz) + 0,25 · C50(4 kHz)

Valores recomendados Claridad de la voz (C50)

$$C50 > 2 \text{ dB}$$

Los valores recomendados en ingeniería acústica para el parámetro C50 están por encima de los 2 dB. Si el valor calculado de este parámetro está por debajo de los 2 dB, el mensaje oral emitido resultaría confuso. Cuanto más elevado sea dicho valor, mejor será la inteligibilidad de la palabra y la sonoridad en el punto considerado.

3.2.2. CLARIDAD MUSICAL (C80)

La claridad musical C80 indica el grado de separación entre los diferentes sonidos individuales integrantes de una composición musical. Nos da información respecto a la cantidad de energía sonora que llega dentro de los primeros 80 ms desde la llegada del sonido directo y la energía que llega con posterioridad. Este parámetro es análogo a la claridad de la voz pero ampliado al intervalo de recepción de energía inicial a 80 ms, correlacionado bien con la percepción subjetiva de la calidad de la música.

$$C_{80} = \frac{\text{Energía hasta 80 ms}}{\text{Energía después 80 ms}} \text{ (dB)}$$

Un C80 alto significa que la energía sonora inmediata es muy superior a la tardía, entonces diremos que el sonido es muy claro. Esto quiere decir que dentro de los primeros 80 ms se producirán muchas más reflexiones que provienen de paredes o techos próximos al oyente, que reflexiones generales debidas a restantes superficies de la sala. Cuando esto sucede obtendremos generalmente que el tiempo de reverberación inmediato, dentro de los primeros 10 dB de caída, llamado EDT, será mucho más pequeño que el tiempo de reverberación medio del recinto. Este fenómeno es altamente detectado en balcones y en anfiteatros en los que el techo sea relativamente bajo, y en techos de salas en que no se produzca la difracción del sonido y que la reflexión especular sea muy direccional e intensa hacia el oyente.

Valores recomendados Claridad musical (C80)

-“Musicaverage”: Beranek recomienda como valor representativo el calculado para el rango de frecuencias 500Hz, 1KHz y 2KHz.

Recomienda que el valor para sala vacía esté comprendido entre:

$$-4 \leq C80 \leq 0 \text{ dB}$$

Según L.G. Marshall, los valores recomendados para sala ocupada están entre:

$$-2 \text{ dB} \leq C80 \leq +2 \text{ dB}$$

H. Arau, establece la siguiente clasificación de valores recomendados:

-Salas de concierto: $-2 \text{ dB} < C80 < 4 \text{ dB}$

-Salas de ópera: $-2 \text{ dB} < C80 < 4 \text{ dB}$, cuándo el sonido es emitido desde el escenario.

-Sala de teatro: $C80 > 6 \text{ dB}$

3.2.3. DEFINICIÓN (D)

Es la relación entre la energía del sonido que llega al oyente durante los primeros 50 ms desde la llegada del sonido directo, es decir, incluye el sonido directo y las primeras reflexiones, y la

energía total recibida por el mismo. Se calcula en cada banda de frecuencias entre 125 Hz y 4 kHz:

$$D = \frac{\text{Energía hasta 50 ms}}{\text{Energía total ms}} \text{ (dB)}$$

El valor de D varía en función de la posición del oyente respecto a la sala. La situación óptima se da cuando se sitúa frontalmente, y va empeorando a medida que realiza una rotación. El diseño de un recinto destinado a la palabra ha de encaminarse hacia la obtención de la máxima invariabilidad de este parámetro con independencia de la posición del actor en el escenario.

Valores que debe cumplir (D)

En cada punto de una sala ocupada y en cada banda de frecuencias se debe cumplir:

$$D > 0.5$$

Cuanto mayor sea el valor de la definición, mejor será la inteligibilidad y la sonoridad en la sala.

3.3. FUERZA ACÚSTICA O SONORIDAD (G)

Representa el grado de amplificación acústica producido por la sala entre el punto de emisión y el punto de recepción. Su valor depende de:

- La distancia entre el oyente y la fuente: disminuye al aumentar dicha distancia.
- Energía asociada a las primeras reflexiones: aumenta cuando aumenta el número de las primeras reflexiones.
- Grado de ocupación del público: disminuye si el grado de ocupación es alto, debido a la absorción del público.
- Nivel del campo reverberante: aumenta al aumentar la contribución energética debida a la reverberación.

Se define como el nivel producido por la fuente sonora en el punto medido menos el nivel que produciría dicha fuente, emitiendo a la misma potencia, dentro de una cámara anecoica (o campo libre) en un punto situado a 10 m de distancia de la fuente:

$$G = 10 \cdot \log \left(\frac{\int_0^\infty h^2(t) dt}{\int_0^\infty h_{A,10}^2(t) dt} \right) = 10 \cdot \log \left(\frac{E_T}{E_{T(A,10)}} \right) \text{ (dB)}$$

Donde,

$h_{A,10}$ es la respuesta al impulso medida con la misma fuente sonora en una cámara anecoica a 10 m de distancia.

$$E_{T(A,10)} = \frac{r^2}{10^3} \int_0^{\Delta t} h^2(t) dt$$

Valores recomendados de la fuerza acústica

Los valores de G óptimos para una sala de conciertos vacía, según Beraneck deben estar comprendidos entre 4 y 5.5 dB.

3.4. PARÁMETROS LATERALES

Estos parámetros están relacionados con la energía de las primeras reflexiones laterales. Permiten cuantificar el grado de ASW (amplitud aparente de la fuente sonora). El ASW está directamente relacionado con la impresión espacial del sonido, cuanto mayor sea el ASW mayor será la impresión espacial del sonido y mejor resultará la valoración acústica subjetiva de la sala. Según A. H. Marshall y Barron, la ASW aumenta con el número de primeras reflexiones que inciden lateralmente sobre el oyente. Ello es debido a que el oído las suma con el sonido directo, con lo cual la localización de la fuente tiende a ser ambigua. También, cuanto mayor sea la diferencia entre dos sonidos que llegan al oyente, mayor será éste parámetro.

3.4.1. EFICIENCIA LATERAL (JLF)

Según A. H. Marshall, la eficiencia lateral JLF ("Lateral energy Fraction") se define como la relación entre la energía que llega lateralmente al oyente dentro de los primeros 80 ms desde la llegada del sonido directo (se excluye el sonido directo) y la energía recibida en todas las direcciones en dicho intervalo de tiempo:

$$J_{LF} = \frac{\text{Energía lateral hasta 80 ms (excluyendo el sonido directo)}}{\text{Energía total hasta 80 ms}}$$

J_{LF E4}: Es el valor medio que se utiliza habitualmente de los J_{LF} correspondientes a las bandas de octava comprendidas entre 125 Hz y 1 kHz.

$$J_{LF E4} = \frac{J_{LF} (125 \text{ Hz}) + J_{LF} (250 \text{ Hz}) + J_{LF} (500 \text{ Hz}) + J_{LF} (1 \text{ kHz})}{4}$$

Valores recomendados JLF_{E4}

Para una sala vacía:

$$J_{LF E4} \geq 0,19$$

Según Barron, los valores recomendables para JLF, en salas de concierto son:

$$0,1 \leq J_{LF E4} \leq 0,35$$

Cuanto más elevado sea el valor de J_{LF E4}, mayor será la ASW y, por consiguiente, el grado de espacialidad del sonido.

En la audición musical, la amplitud aparente de la fuente sonora ASW se asocia con la sensación de que el sonido que llega del escenario proviene de una fuente de mayor amplitud que la correspondiente a la orquesta real.

Cuanto mayor sea la ASW, mayor será la impresión espacial del sonido y mejor resultará la valoración subjetiva de la calidad acústica de la sala.

3.4.2. J_{LFC}

Se puede utilizar el J_{LFC} como alternativa a la eficiencia lateral J_{LF}, se considera subjetivamente más precisa.

Se utiliza normalmente el valor medio de los J_{LFC} correspondientes a las bandas de octava comprendidas entre 125 Hz y 1 kHz.

3.5. PARÁMETROS BINAURALES

3.5.1. CORRELACIÓN CRUZADA INTERAURAL (IACC)

Está asociada al grado de similitud entre las primeras reflexiones que llegan a ambos oídos y permite cuantificar el grado de ASW.

Se define como la correlación entre los sonidos que llegan a ambos oídos, y es indicativa del grado de similitud existente entre las dos señales. Si son iguales, el IACC valdrá 1, mientras que si son señales aleatorias independientes, el IACC será 0:

$$0 \leq \text{IACC} \leq 1$$

En la práctica, la medida es binaural, siendo tomada por dos micrófonos colocados en la las orejas de una cabeza artificial.

Están definidos dos IACC: IACC_E y IACC_L .

Definidos por Hidaka, dónde el subíndice E corresponde a la palabra "Early" y se refiere a los primeros 80 ms desde la llegada del sonido directo. El subíndice L se refiere a "Late" y se calcula de los 80 ms hasta 1 s.

Como las bandas de frecuencias más representativas son las centradas en 500 Hz, 1 kHz y 2 kHz, surgen los siguientes parámetros derivados como promedio de los valores de dichas bandas: IACC_{E3} e IACC_{L3} .

El IACC_{E3} permite cuantificar el grado de disimilitud entre las informaciones sonoras que llegan a ambos oídos, dentro de los primeros 80 ms desde la llegada del sonido directo. Cuanto más diferentes sean, menor será el valor de IACC_{E3} .

3.6. ÍNDICES DE INTELIGIBILIDAD

La calidad acústica de un recinto se puede determinar de manera general evaluando el ruido de fondo y el tiempo de reverberación, ya sea cual sea su uso, sea destinado a actos musicales o para la transmisión de la palabra. Pero para salas destinadas a la palabra, la cuantificación del grado de inteligibilidad de ésta se lleva a cabo por los siguientes parámetros: RASTI, STI y %ALCons. Se consideran parámetros fundamentales. Para la música, no hace falta que la inteligibilidad sea muy buena pero para los teatros es un requisito fundamental. Se ha podido demostrar que existe una muy buena correlación entre los valores de %ALCons y de STI / RASTI. Dicha correspondencia se muestra en la siguiente gráfica:

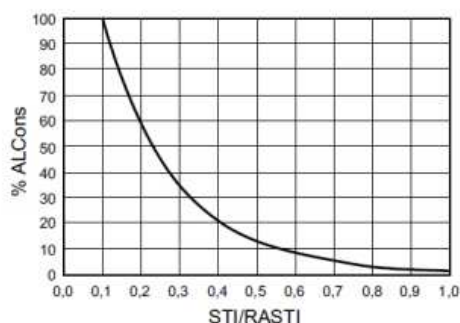


Fig. 3.3 Correspondencia %ALCons y STI/RASTI

Al emitir un mensaje oral, la duración de las vocales y su correspondiente nivel de presión sonora es mayor que el de las consonantes. Además, el contenido frecuencial de las vocales es más rico en bajas frecuencias, en tanto que las consonantes presentan un mayor contenido de altas frecuencias. En una sala con un tiempo de reverberación alto, el decaimiento energético de una vocal emitida en la misma es apreciablemente más lento que su decaimiento propio (aquel que se observaría si la vocal se emitiese en el espacio libre). Tal hecho, junto con la mayor duración y nivel comentados anteriormente, provoca un solapamiento temporal de la vocal con la consonante emitida inmediatamente después.

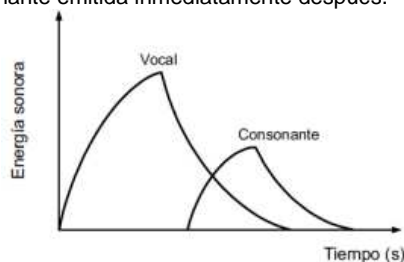


Fig. 3.4 Evolución temporal de la energía sonora correspondiente a la emisión de una vocal seguida de una consonante en un recinto cerrado.

3.6.1. STI

El índice STI, definido por Houtgast y Steeneken, permite cuantificar el grado de inteligibilidad de la palabra entre los valores 0 (inteligibilidad nula) y 1 (inteligibilidad óptima). El STI se calcula a partir de la reducción de los diferentes índices demodulación "m" de la voz debida a la existencia de reverberación y de ruido de fondo en una sala.

3.6.2. RASTI

El índice de inteligibilidad RASTI (Rapid Speech Transmission Index), es una versión simplificada del índice STI, la simplificación consiste en reducir el número de frecuencias de modulación. El procedimiento se basa en el análisis de la degradación de la modulación de una señal portadora de banda ancha modulada. Las señales moduladoras, sinusoides de baja frecuencia, reproducen las frecuencias con que modulamos nuestro discurso al hablar. Este índice ha sido ampliamente contrastado con numerosas pruebas subjetivas realizadas en múltiples idiomas.

El número de índices de modulación calculados es únicamente de 9, frente a los 98 utilizados en el caso del índice STI. Se obtiene como una función que depende del tiempo, es la relación de la señal respecto al ruido de la sala y los posibles ecos. Sus valores varían del 0 al 1, siendo el 0 inteligibilidad nula y el 1 inteligibilidad óptima.

Podemos clasificar las salas siguiendo el siguiente criterio:

VALORACIÓN SUBJETIVA	STI/RASTI
Mala	0 –0,3
Pobre	0,3 –0,45
Aceptable	0,45 –0,6
Buena	0,60 –0,7
Excelente	0,75-1

Tabla 3.4. Valoración subjetiva de la inteligibilidad a partir del índice RASTI.

4. DESCRIPCIÓN DE AUDITORIOS ANALIZADOS

Se ha recopilado información (detalles técnicos, geométricos, parámetros acústicos) de salas de concierto (Concert Houses) y salas de Teatro-Ópera (Opera Houses) tanto nacionales como internacionales. Todas sus características y parámetros acústicos (en los que están disponibles) se muestran en el Anexo I.

El listado de los recintos es el mostrado en las siguientes Tablas.

4.1. CONCERT HOUSES

4.1.1. INTERNACIONALES

Tabla 4.1. Listado de “CONCERT HOUSES” internacionales analizados

1	Baltimore, Joseph Meyerhoff Symphony Hall
2	Bloomington, Indiana University Auditorium
3	Boston, Symphony Hall
4	Buffalo, Kleinhans Music Hall
5	Chicago, Orchestra Hall
6	Cleveland, Severance Hall
7	Costa Mesa, Segerstrom Hall, Orange County Performing Arts Center
8	Dallas, McDermott Concert Hall and Meyerson Symphony Center
9	Lenox, Massachusetts, Tanglewood, Koussevitzky Music Shed
10	Lenox, Massachusetts, Seiji Ozawa Hall
11	Minneapolis, Minnesota Orchestra Hall
12	New York, Avery Fisher Hall
13	New York, Carnegie Hall
14	Salt Lake City, Abravanel Symphony hall
15	San Francisco, Davies Symphony Hall
16	J.F. Kennedy Center of performing arts, Opera House
17	Worcester, Massachusetts, The Grand Hall, Mechanics Hall
18	Sydney Opera House, Concert Hall
19	Vienna, Grosser Musikvereinssaal
20	Brussels, Palais des Beaux-Arts
21	Edmonton, Northern Alberta Jubilee Auditorium
22	Montreal, Salle Wilfrid-Pelletier
23	Tronto, Roy Thomson Hall
24	Copenhagen, Radiohuset, Studio 1
25	Copenhagen, Tivoli Kocertsal
26	Helsinki, Kulttuuritalo
27	Paris, Salle Pleyel
28	Berlin Kammermusikaal Der Philharmonie
29	Berlin, Konzerthaus
30	Berlin, Philharmonie
31	Bonn, Beethovenhalle
32	Leipzig, Gewandhaus
33	Munich, Herkulessaal
34	Munich, Philharmonie Am Gasteig
35	Stuttgart, Liederhalle, Grosser Saal
36	Birmingham, Symphonie Hall
37	Bristol, Colston Hall

38	Cardiff, Wales St.Davids Hall
39	Edinburgh, Usher Hall
40	Glasgow, Scotland, Royal Concert Hall
41	Liverpool. Philharmonic Hall
42	London Barbican, Large Concert Hall
43	London Royal Albert Hall
44	London, Royal Festival Hall
45	Manchester, Free trade Hall
46	Budapest, Patria Hall in convention center
47	Jersulaem, Binyanei Ha'Oomah
48	Tel Aviv, Frederic R.Mann Auditorium
49	Osaka, Symphony Hall
50	Tokyo, Bunka Kaikan (Ueno)
51	Tokyo, Hamarikyū Asahi Hall
52	Tokyo, Metropolitan Art Space
53	Tokyo, Orchard Hall, Bunkamura
54	Tokyo, Suntory Hall
55	Mexico Sity, Salla Nezahualcoyotl
56	Amsterdam, Concertgebouw
57	Rotterdam, De Doeln, Concertgebouw
58	Christchurch, Town Hal
59	Gothenberg, Konserthus
60	Basel, Stadt_Casino
61	Zurich, Grosser Tonhallesaal
62	Taipei, Cultural Centre, Concert Hall
63	Caracas, Aula Magna
64	America: Akron, E.J. Thomas Performing Arts
65	America: Detroit, Orchestra Hall
66	Washington, DC, JFK Concert Hall
67	Canada: Brandon, Manitoba, Western Manitoba Centennial Auditorium
68	Aspen, Benedict Music Tent
69	Athens, Megaron Concert Hall
70	Baden-Baden, Festspielhaus
71	Belfast, Waterfront Hall
72	Buenos Aires, Teatro Colón
73	Denver, Boettcher Hall
74	Fort Worth, Bass Performance Hall
75	Hong Kong, Cul. Ctr. Concert Hall
76	Kuala Lumpur, Dewan Fil. Petronas
77	Kyoto, Concert Hall
78	Lahti, Sibelius/Talo
79	Lucerne, Cultural Ctr. Concert Hall
80	Manchester, Bridgewater Hall
81	Montreal, Salle Wilfrid-Pelletier
82	Odense, Koncerthus, Nielsen Hall
83	Philadelphia, Verizon Hall, Kimmel Center
84	Rochester, NY, Eastman Theatre
85	Salzburg, Festspielhaus
86	Sao Paulo, Sala Sao Paulo
87	Sapporo, Concert Hall
88	Seattle, Benayora Hall
89	Shanghai, Grand Theatre
90	Tokyo, NHK Hall

91	Tokyo, Opera City Concert Hall
92	Toronto, Roy Thompson Hall
93	Trondheim, Olavshallen
94	Vienna, Konzerthaus

4.1.2 NACIONALES

Tabla 4.2. Listado de “CONCERT HOUSES” nacionales analizados

1	Gran Teatro - Gran Teatro del Parque de Atracciones - Madrid
2	Madrid, Auditorio Nacional de Música
3	Sala Sinfónica - L'Auditori - Barcelona
4	Auditorio - Palacio Euskalduna de Congresos y de la Música - Bilbao
5	Palau de la Música Catalana - Palau de la Música Catalana - Barcelona
6	Sala Principal - Auditorio-Palacio de Congresos Príncipe Felipe - Oviedo
7	Sala García Lorca - Palacio de Exposiciones y Congresos - Granada
8	Sala Mozart - Auditorio-Palacio de Congresos - Zaragoza
9	Auditorio - Palacio de Congresos - Madrid
10	Sala Narciso Yepes - Auditorio y Centro de Congresos Víctor Villegas - Murcia
11	Auditorio - Centro Kursaal - San Sebastián/Donostia
12	Valencia, Palau de la Música
13	Sala Magna - Auditorium de Palma de Mallorca - Palma de Mallorca
14	Sala Sinfónica - Auditorio Alfredo Kraus - Las Palmas de Gran Canaria
15	Sala Argenta - Palacio de Festivales de Cantabria - Santander
16	Sala Santiago - Palacio de Congresos y Exposiciones de Galicia - Santiago de Compostela
17	Sala Principal - Baluarte. Palacio de Congresos y Audit. de Navarra - Pamplona
18	Teatre La Passió - Olesa de Montserrat
19	Auditorio I, Palacio de Congresos - Valencia
20	Palacio de Congresos Expo Aragón - Zaragoza
21	Centro de las artes escénicas y de la música - Salamanca
22	Teatro del I,E,S, Universidad Laboral - Gijón
23	Auditorio Manuel de Falla - Granada
24	Teatro Auditorio - Roquetas de Mar
25	Sala Principal, Auditorio Ciudad de León - León
26	Auditorio Municipal - Puertollano
27	Teatro Avenida - Santo Domingo de la Calzada
28	Teatre Municipal La Faràndula- Sabadell
29	Sala A, Teatro Auditorio - San Lorenzo del Escorial
30	Auditorio de la Universidad Carlos III - Leganés
31	Sala Ángel Brage - Santiago de Compostela
32	Teatro Gran Vía - Madrid
33	Teatro Apolo - Barcelona
34	Auditorio Pilar Bardem - Rivas Vaciamadrid
35	Sala Buero Vallejo - Guadalajara

36	Sala Teobaldo Power - La Orotava
----	----------------------------------

4.2. OPERA HOUSES

4.2.1 INTERNACIONALES

Tabla 4.3. Listado de “OPERA HOUSES” internacionales analizados

1	Amsterdam Music Theater
2	Athens, Megaron
3	Bayeruth, Festpielhaus
4	Berlin, Deutscheoper
5	Berlin, Komischeoper
6	Budapest, Magyar Allami Operahaz
7	Buenos Aires, Teatro Colón
8	Chicago, Civic Opera House
9	Dresden, Semperoper
10	Essen, Opera House
11	Fort Worth, Bass Performance Hall
12	Glyndebourne, Opera House
13	Hamburg, Staatsoper
14	London, Royal Opera House
15	Milan, Teatro Alla Scala
16	Naples, Teatro di San Carlo
17	New York, Metropolitan Opera House
18	Paris, Opera Bastille
19	Paris, Opera Garnier
20	Philadelphia, Academy of Music
21	Prague, Staatsoper
22	Rochester, NY, Eastman Theatre
23	Salzburg, Festspielhaus
24	San Francisco, War Memorial Opera House
25	Seattle, Opera House
26	Shanghai, Grand Theatre
27	Tokyo, Bunka Kaikan (Ueno)
28	Tokyo, New National Theatre Opera House
29	Tokyo, Nissei theater
30	Tokyo, NHK Hall
31	Vienna, Staatsoper
32	Washington, DC, JFK Center, Opera House

4.2.2. NACIONALES

Tabla 4.4. Listado de “OPERA HOUSES” nacionales analizados

1	Gran Teatre del Liceu - Gran Teatre del Liceu - Barcelona
---	---

2	Teatro Real - Teatro Real - Madrid
3	Teatre Tívoli - Teatre Tívoli - Barcelona
4	Teatro Arriaga - Teatro Arriaga - Bilbao
5	Teatro Coliseum - Madrid
6	Teatro Campoamor - Oviedo
7	Teatro Lope de Vega - Madrid
8	Teatro Principal - Requena
9	Sala Capitol - Madrid
10	Teatro Nuevo Apolo - Madrid
11	Teatro de la Zarzuela - Madrid
12	Teatre Victória - Barcelona
13	Cine-Teatro Filarmónica - Oviedo
14	Gran Teatro Falla - Cádiz
15	Teatro Romea - Murcia
16	Teatro Jovellanos - Gijón
17	Teatro Circo - Orihuela
18	Teatro Villamarta - Jerez de la Frontera
19	Teatro Olimpia - Huesca
20	Teatro Calderón de la Barca - Valladolid
21	Teatro Principal - Zaragoza
22	Teatro Gayarre - Pamplona
23	Teatro Miguel de Cervantes - Málaga
24	Teatre Municipal El Jardí - Figueres
25	Teatro Olympia - Valencia
26	Teatro Principal Antzokia - Vitoria
27	Teatro Cine Montecarlo- Buñol

5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

5.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICO-TEMPORAL DE VOLÚMENES Y AFOROS

A lo largo de los años es claro que ha habido una evolución musical, tanto sinfónica como operística. Tal evolución ha estado íntimamente influida por los recintos disponibles para su representación, influyendo cada una de ellas en la otra. Hemos querido representar la evolución histórica de los recintos escénicos, tanto en los internacionales como en los españoles, con el objetivo de observar (si se produce) alguna tendencia.

La figura 5.1 muestra la evolución temporal tanto de los aforos como de los volúmenes de los recintos españoles. La figura 5.2 muestra la evolución temporal tanto de los aforos como de los volúmenes de los recintos internacionales. En esta gráfica, no se ha escalado el eje "y" para no distorsionar la gráfica. Tal recinto (nº 12, Royal Albert House) posee un volumen anormalmente elevado, de 86.650 m³.

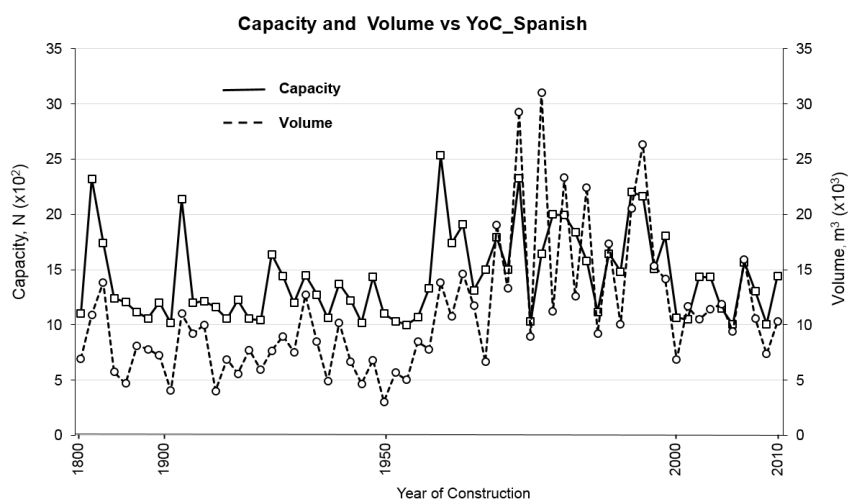


Fig. 5.1 Evolución temporal de volúmenes y aforos en recintos escénicos españoles.

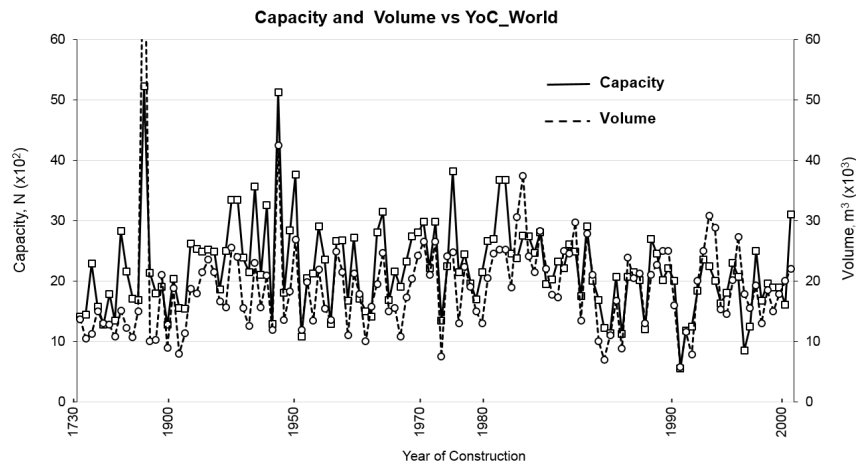


Fig. 5.2. Evolución temporal de volúmenes y aforos en recintos escénicos internacionales.

El volumen promedio de los recintos españoles analizados es de 10.884 m³ con desviación estándar de 5.951 m³. Los correspondientes valores para los recintos internacionales analizados son, respectivamente, 19.041 m³ y 8.902 m³. Una primera conclusión es que los volúmenes de los recintos escénicos internacionales (su valor promedio) analizados casi duplica al valor de los recintos escénicos españoles. Por otra parte, respecto a los aforos, el valor promedio de los recintos españoles es de 1.426, siendo de 2.205 para los internacionales. El volumen por persona promedio para los recintos españoles es de 7,43 m³/persona. El correspondiente a los recintos internacionales es de 8,72 m³/persona.

5.2 ANÁLISIS DE LOS DIFERENTES T_R EVALUADOS POR ODEON

Métodos para obtener las EDCs (Energy-time Decay Curve).

Odeon presenta dos métodos de cálculo de la caída energética en una sala:

1. Quick Estimate (disponible desde el menú Material List).

Este es el método más rápido. Permite una rápida evaluación del efecto que produce el cambio de materiales y debiera ser usado únicamente como una herramienta para resultados preliminares.

2. Global Estimate. Ofrece resultados más preciso que el anterior.

Quick Estimate.

Este método estima un coeficiente de absorción medio, el cual se introduce en las fórmulas de cálculo (Sabine, Eyring o Arau-Puchades) para dar una estimación del tiempo de reverberación. En vez de tomar, simplemente, las áreas de las diferentes superficies y multiplicarlas por los correspondientes coeficientes de absorción (para

obtener la absorción total de la sala) Odeon lanza *partículas* (rayos) desde la fuente, asumiendo condiciones difusas (y, por tanto, reflejándolas en direcciones aleatorias) llevando una cuenta de cuántas veces chocan con cada superficie. Las superficies con mayor frecuencia de choques conllevan un mayor peso en el coeficiente de absorción medio global de la sala. Las superficies que no son detectadas en el proceso del trazado de rayos son excluidas en todos los cálculos y las superficies que son golpeadas por ambas caras se incluyen dos veces en los cálculos. Como resultado, el tiempo de reverberación estimado corresponde al subvolumen en el que la fuente seleccionada está ubicada. Hay que hacer notar, sin embargo, que si una parte de la superficie (que está presente en el subvolumen) está ubicada fuera del mismo (por ejemplo, si dos subvolúmenes comparten la misma superficie de suelo) entonces el área y superficie estimadas por los cálculos estadísticos pueden no ser totalmente correctos. En tal caso, es posible poner el volumen manualmente.

El coeficiente de absorción medio viene dado por:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_i S_i \alpha_i}{\sum_i S_i} \quad [1]$$

Donde S_i y α_i son, respectivamente, el área y coeficiente de absorción de la i -ésima superficie de la sala. El coeficiente de absorción media modificado tal como lo experimenta el trazado de rayos es:

$$\bar{\alpha}_i = \frac{\sum_i H_i \alpha_i}{\sum_i H_i} \quad [2]$$

Donde H_i es el número de choques con la i -ésima superficie de la sala. Odeon introduce ambos coeficientes de absorción en las fórmulas de Sabine y Eyring para calcular los tiempos de reverberación. El valor clásico (Ec. 1) se utiliza para obtener los tiempos de reverberación denominados como Tr de Sabine y de Eyring mientras que el modificado (Ec. 2) se utiliza para obtener los tiempos de reverberación denominados Tr de Sabine y Eyring *modificados*.

Los cálculos de Tr requieren un valor para el volumen de la sala, valor que Odeon estima a partir del *recorrido libre medio* experimentado por el trazado de rayos, usando la conocida relación:

$$l = \frac{4V}{S} \quad [3]$$

Donde S es la superficie total activa de la sala. En las últimas versiones del programa, el proceso de trazado de rayos seguido para estimar el volumen de la sala asume coeficientes de scattering unidad para todas las superficies (no los coeficientes de scattering utilizados en la *lista de materiales*) puesto que la fórmula del recorrido libre medio (Ec. 3) está basada en hipótesis de campo difuso. El valor de S usado es la suma de las áreas de las superficies definidas como *no transparentes*, teniendo en cuenta si una, dos o (por supuesto) ninguna de las caras de una superficie son visibles dentro de la sala.

Criterio de Convergencia.

Con respecto al *criterio de convergencia*, un cierto número de rayos deben emitirse y ser seguidos por la sala para obtener una estimación estable. Se continúa radiando rayos en direcciones aleatorias hasta que el valor del tiempo de reverberación se mantiene dentro del 1% para, al menos, 50 rayos. Al final de la ejecución, se almacena el dato de cuantas veces cada superficie ha sido golpeada por los rayos. Entonces, si se asignan nuevos materiales a las superficies, los tiempos de reverberación se pueden recalcular instantáneamente, sin necesidad de repetir el trazado de rayos.

Global Estimate.

Este método estima los tiempos de reverberación T_{20} y T_{30} usando el método de Schröder (Schröder, 1970) así como el recorrido libre medio y genera estimaciones de la curva de caída. Los rayos se emiten desde la fuente en direcciones aleatorias y se reflejan utilizando el '*vector based scattering method*'. Odeon registra la pérdida de energía de cada rayo en función del tiempo, originada tanto por la absorción de las superficies de la sala como por el aire. Sumando sobre un gran número de rayos, se obtiene la función de decaimiento energético. Todo resulta análogo a la conocida curva de caída de Schröder excepto que, en este caso, no se evalúa para un receptor específico. Este proceso de suma se puede llevar a cabo con tantos rayos como se desee.

Evaluación de los resultados.

Se derivan los resultados cuando las curvas de caída se alisan. Por lo general, los valores del T_{30} son mayores que los del T_{20} . Si los resultados son los opuestos, es muy probable que el número de rayos usados fue insuficiente y conviene recalcular (opción disponible en la parte inferior como *Recalculate*). Asimismo, si los valores aportados

para el T_r son **, la longitud de la respuesta al impulso (*Impulse Response Length*) definida en la configuración de la sala (*Room Setup*) es demasiado corta para obtener los parámetros de la reverberación.

Análisis de métodos en los recintos modelizados.

En los recintos españoles modelizados que se han utilizado en este Proyecto, se han obtenido los resultados del tiempo de reverberación por diferentes vías. Nos centraremos en el parámetro T_{30} (Sabine y Eyring) para el análisis que sigue.

En primer lugar, se han obtenido los T_{30} tanto por el método Quick Estimate como por el método Global Estimate, es decir se dispone de los valores T_{30} Sabine, T_{30} Eyring, T_{30} Sabine modificado y T_{30} Eyring modificado, a los que denominaremos, respectivamente, $T_{30,S}$, $T_{30,E}$, $T_{30,Sm}$ y $T_{30,Em}$. Incluiremos, asimismo el tiempo de reverberación evaluado mediante el método Global Estimate, T_{30GE} .

Por otra parte, también se dispone del valor del T_{30} en un receptor central de la sala, obtenido como respuesta al impulso en tal receptor. Lo denominaremos como $T_{30,Rcentral}$. Finalmente, se obtuvieron los T_{30} en mallas de receptores ubicadas en la audiencia con la precisión (aproximada) de un receptor en cada asiento. A estos valores, promediados para todos los receptores de la malla, les denominaremos $T_{30,Mav}$.

Previo a la comparación de los resultados para intentar contestar a la pregunta de cuál es la fiabilidad de los resultados ofrecidos por los diferentes métodos, uno debiera conocer cuál es el resultado *exacto*, es decir, el resultado *experimental* preciso. Obviamente, no se dispone de tales datos, amén de ser también discutible la precisión-incertidumbre de los resultados experimentales. Por tanto, el análisis se hará sobre los resultados obtenidos por el programa (con diferentes métodos) y los diferentes criterios para evaluar el tiempo de reverberación de una sala.

Asumiremos como valor más representativo del tiempo de reverberación de una sala el promediado sobre toda la malla de receptores, es decir, $T_{30,Mav}$. Compararemos el resto de descriptores del tiempo de reverberación con este valor, para cada sala.

Dispersión global

Calculando la dispersión (desviación estándar de la variable $T_{30,i}$ respecto al *valor verdadero* T_{30Mav}) para los 63 recintos modelizados, obtenemos la siguiente gráfica:

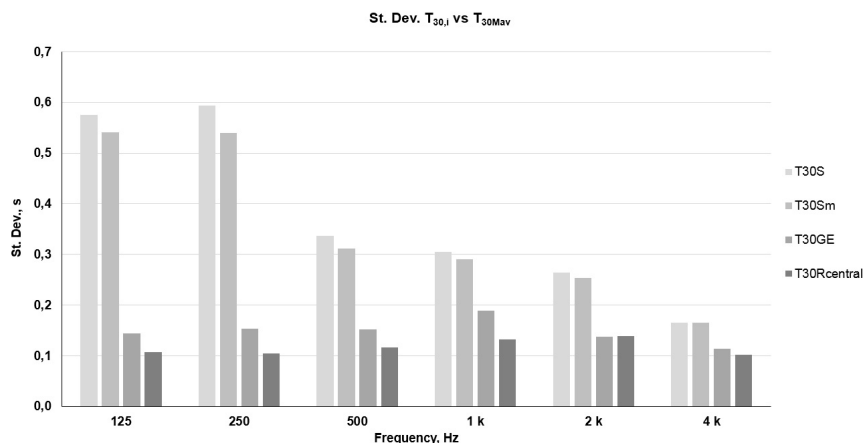


Fig. 5.3 Relación estimadores Quick Estimate y Global Estimate

Como se observa claramente, los estimadores del Quick Estimate ($T_{30,S}$ y $T_{30,Sm}$) son peor estimadores que el Global Estimate (T_{30GE}) y el $T_{30Rcentral}$, especialmente en bajas frecuencias (125 y 250 Hz). Los otros dos estimadores afinan mucho mejor el tiempo de reverberación. Además, las desviaciones son muy elevadas. La siguiente tabla (Tabla 5.1) muestra, por frecuencias, los valores promedios de los $T_{30,Mav}$ de todas las salas, las desviaciones estándar de los descriptores y tales desviaciones expresadas en número de veces el jnd (*just noticeable difference*) del valor promedio, es decir, 5 % del valor.

Freq., Hz	125	250	500	1 k	2 k	4 k
\bar{T}_{30Mav} , s	1,99	2,04	1,80	1,63	1,50	1,24
St.Dev. T_{30S} , s	0,57	0,59	0,34	0,30	0,26	0,17
jnd _s	5,8	5,8	3,7	3,8	3,5	2,7
St.Dev. T_{30Sm} , s	0,54	0,54	0,31	0,29	0,25	0,16
jnd _s	5,4	5,3	3,5	3,6	3,4	2,6
St.Dev. T_{30GE} , s	0,14	0,15	0,15	0,19	0,14	0,11
jnd _s	1,5	1,5	1,7	2,3	1,8	1,8
St.Dev. $T_{30Rcentral}$, s	0,11	0,10	0,12	0,13	0,14	0,10
jnd _s	1,1	1,0	1,3	1,6	1,8	1,6

Tabla 5.1 Valores promedios de los $T_{30,Mav}$, desviaciones estándar de los descriptores y tales desviaciones expresadas en número de veces el jnd del valor promedio

Nuestra conclusión sobre los resultados obtenidos es la siguiente. La mayor desviación de los estimadores $T_{30,S}$ y $T_{30,Sm}$ debe ser atribuída a que las hipótesis de campo difuso no se cumplen adecuadamente. Por otra parte, el propio procedimiento de estimación para el T_{30GE} (tal como se explica en el manual) es, realmente, parecido al promedio llevado a cabo para el cálculo del T_{30Mav} .

Valores individuales.

Para concluir este apartado, presentaremos las gráficas (Figuras 2 a 7) de las desviaciones para cada uno de los recintos, de cada estimador frente al T_{30Mav} y para cada banda de frecuencia. Los recintos están ordenados por orden creciente de desviación del $T_{30Rcentral}$ y se expresan en 5 de desviación. Tales gráficas vuelven a corroborar los mejores ajuntes de los estimadores T_{30GE} y $T_{30Rcentral}$, así como el similar comportamiento de los estimadores $T_{30,S}$ y $T_{30,Sm}$, mucho peor estimadores, a su vez, que los anteriores.

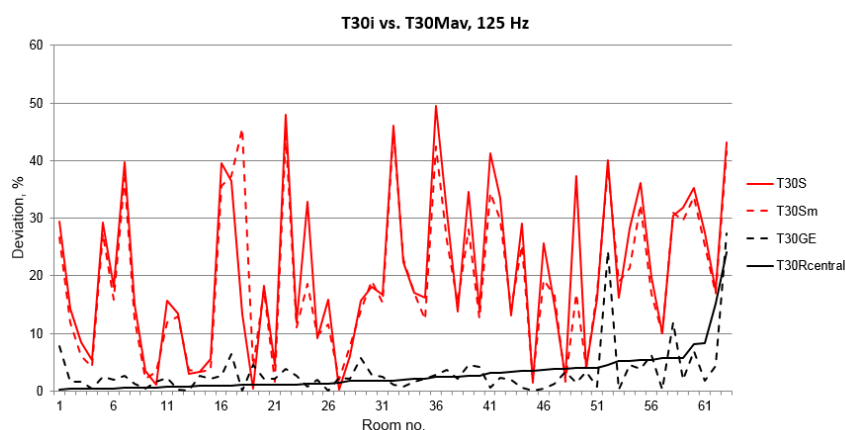


Fig. 5.4 Desviaciones de los estimadores, para cada sala, en la banda de 125 Hz.

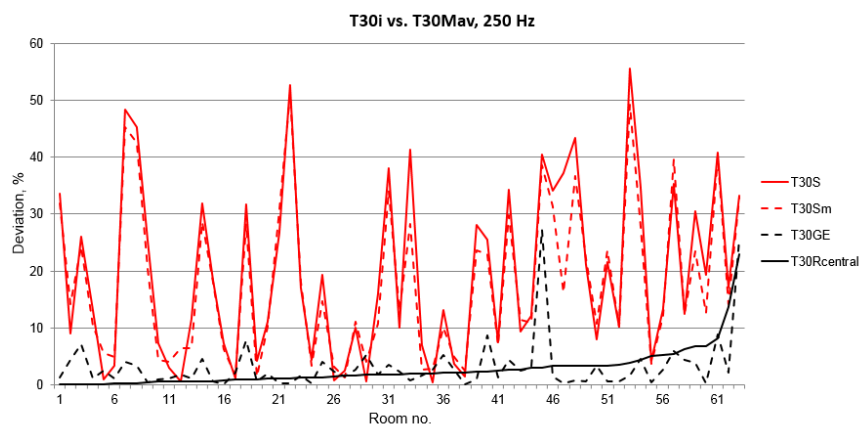


Fig. 5.5 Desviaciones de los estimadores, para cada sala, en la banda de 250 Hz.

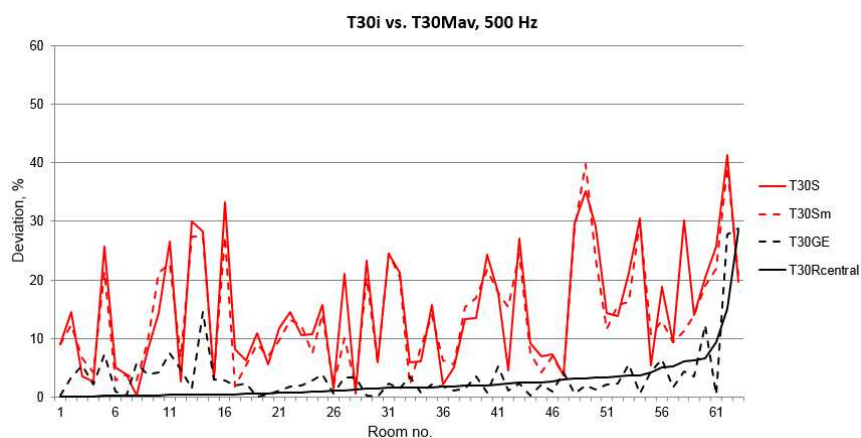


Fig. 5.6 Desviaciones de los estimadores, para cada sala, en la banda de 500 Hz.

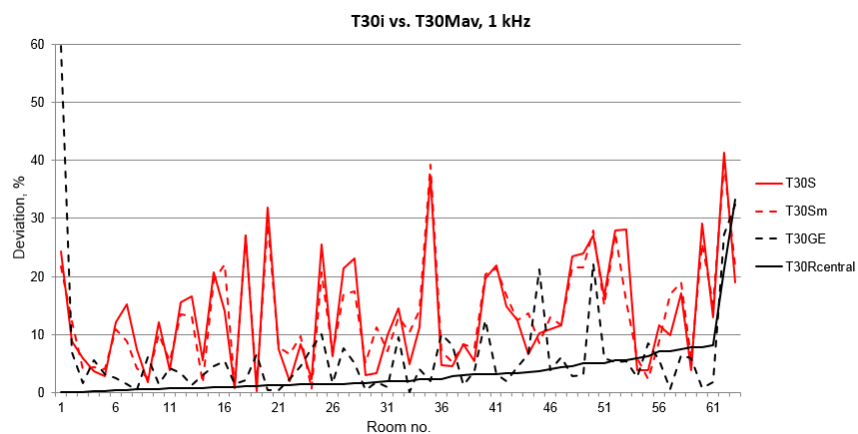


Fig. 5.7 Desviaciones de los estimadores, para cada sala, en la banda de 1 kHz.

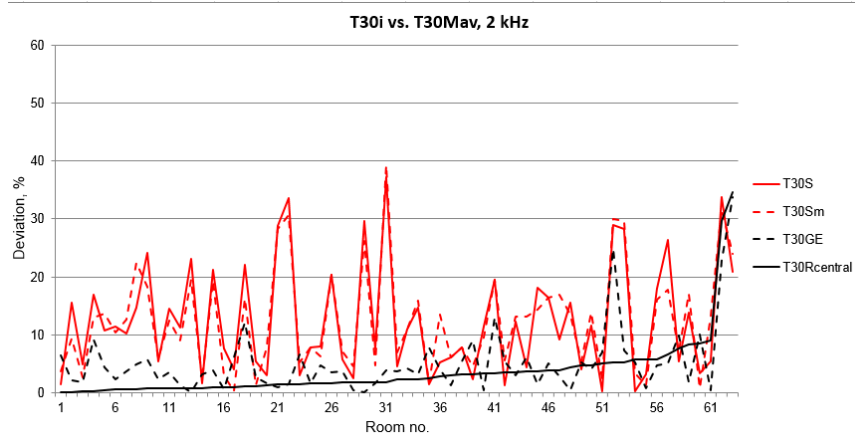


Fig. 5.8 Desviaciones de los estimadores, para cada sala, en la banda de 2 kHz.

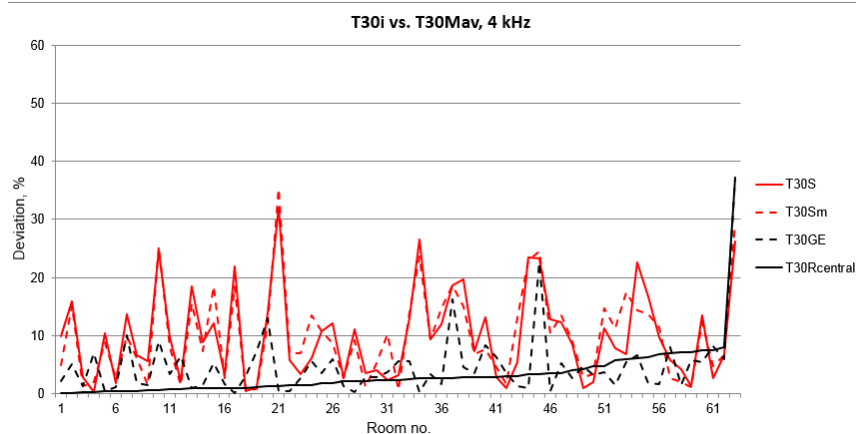


Fig. 5.9 Desviaciones de los estimadores, para cada sala, en la banda de 4 kHz.

5.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE DETALLES TÉCNICOS

5.3.1. CONCERT HOUSES (World vs Spanish)

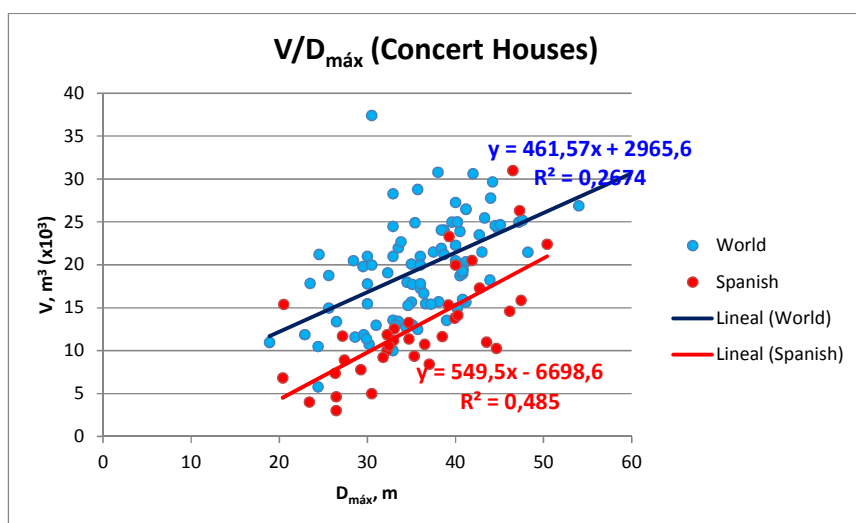


Fig. 5.10 Comparación entre la relación volumen y distancia máxima a la fuente entre Concert Houses internacionales y españoles.

En Fig. 5.10., donde comparamos el volumen de una sala con la distancia máxima a la fuente, podemos ver, en primer lugar, que para volúmenes iguales, dicha distancia es mayor en las salas de concierto nacionales. Además también podemos observar una

dependencia entre ambas magnitudes, a mayor distancia máxima de la fuente, mayor es el volumen de la sala.

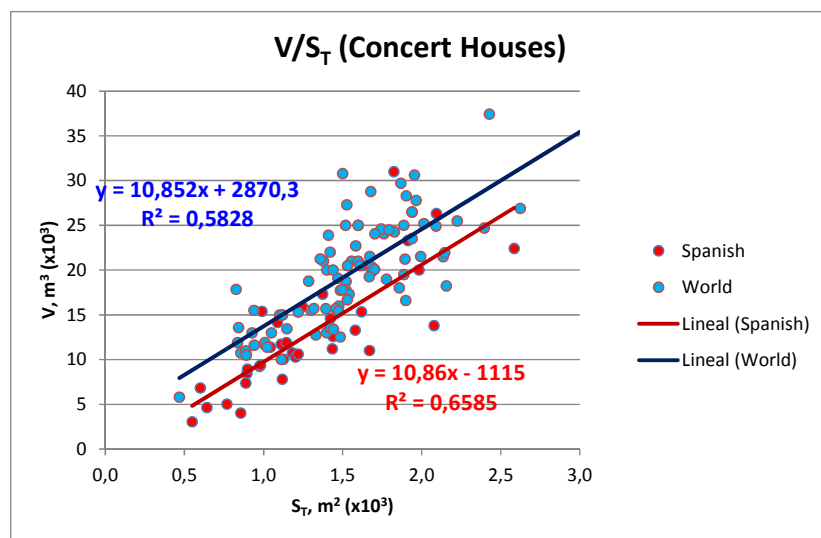


Fig. 5.11 Comparación entre la relación volumen y superficie total entre Concert Houses internacionales españolas

En Fig. 5.11 se representa la relación entre el volumen de las salas para conciertos y la superficie total de las mismas, comparando dicha relación entre las salas internacionales y las nacionales. En ambos casos existe una correlación positiva. Podemos ver algún punto aislado, correspondientes a salas muy voluminosas en función de su superficie total (audiencia + escenario). En dicha gráfica volvemos a apreciar que en España existe una tendencia a construir salas más pequeñas.

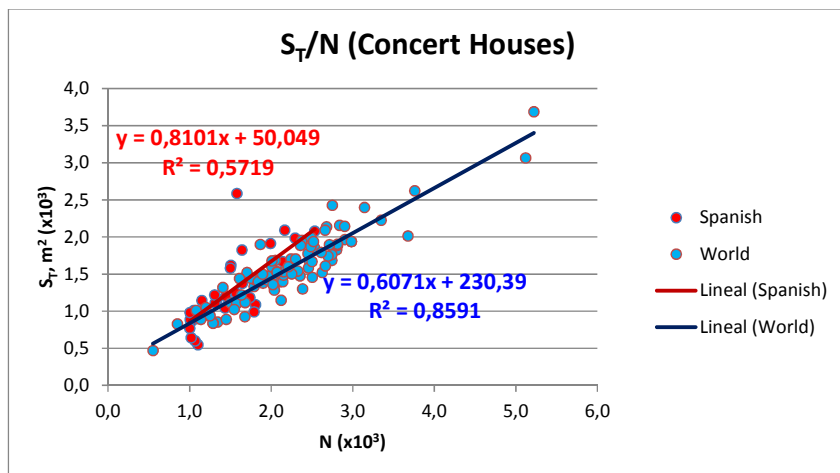


Fig. 5.12 Comparación entre la relación superficie total y aforo entre Concert Houses internacionales y españolas.

En la Fig. 5.12 vemos que existe una correlación entre el aforo y la superficie total de las salas de conciertos. Comparando las salas internacionales con las españolas, vemos que en las últimas hay más superficie en función del aforo.

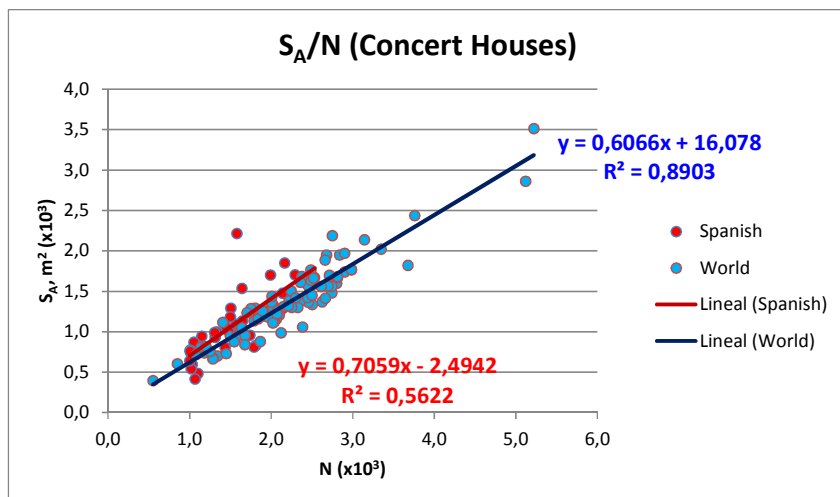


Fig. 5.13 Comparación entre la relación superficie audiencia y aforo entre Concert Houses internacionales y españolas.

Como en la figura anterior, vemos que las salas españolas tienen más metros cuadrados para cada espectador.

5.3.2 OPERA HOUSES (World vs Spanish)

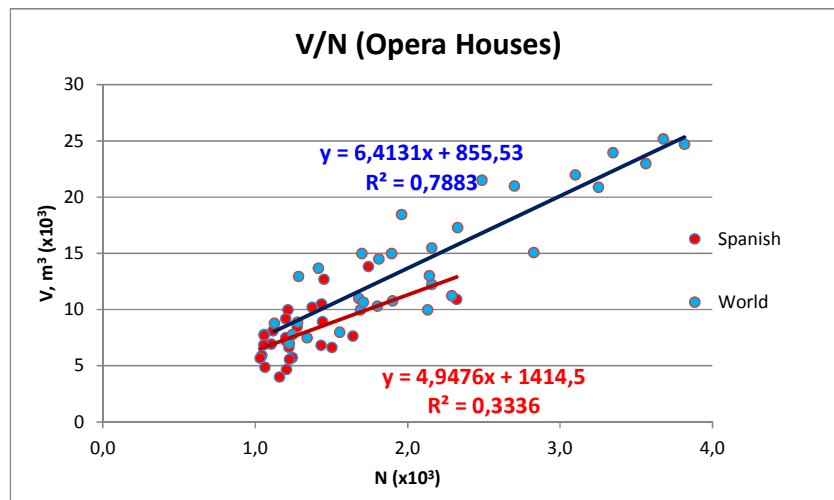


Fig. 5.14 Comparación entre la relación volumen y aforo entre Opera Houses internacionales y españolas

En la Fig. 5.14, observamos que las salas de ópera/teatro internacionales han sido construidas con mayor capacidad en general, y por espectador, que en las españolas.

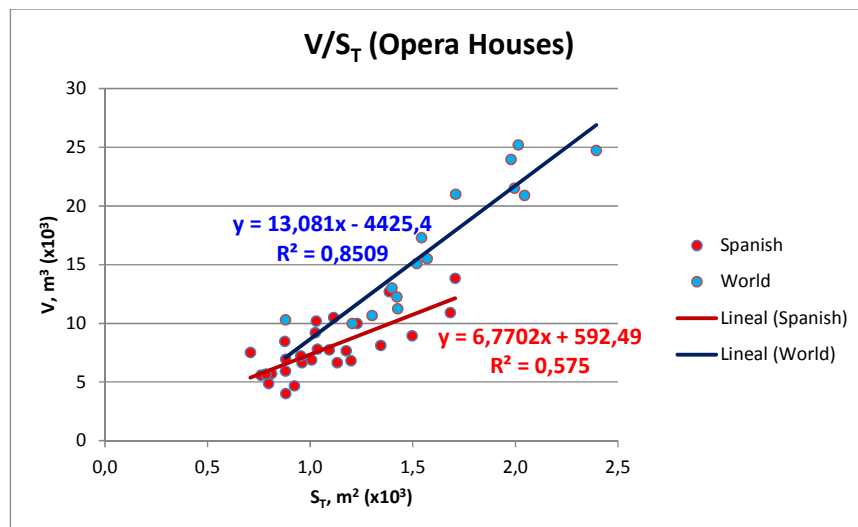


Fig. 5.15 Comparación entre la relación volumen y superficie total entre Opera Houses internacionales y españolas.

Existe una mayor correlación entre el volumen de la sala y la superficie total de la misma en el caso de las internacionales. En el caso de las españolas, vemos que existe una diferencia mínima de volumen entre salas con distinta superficie total, sobre todo en aquellas con menos superficie.

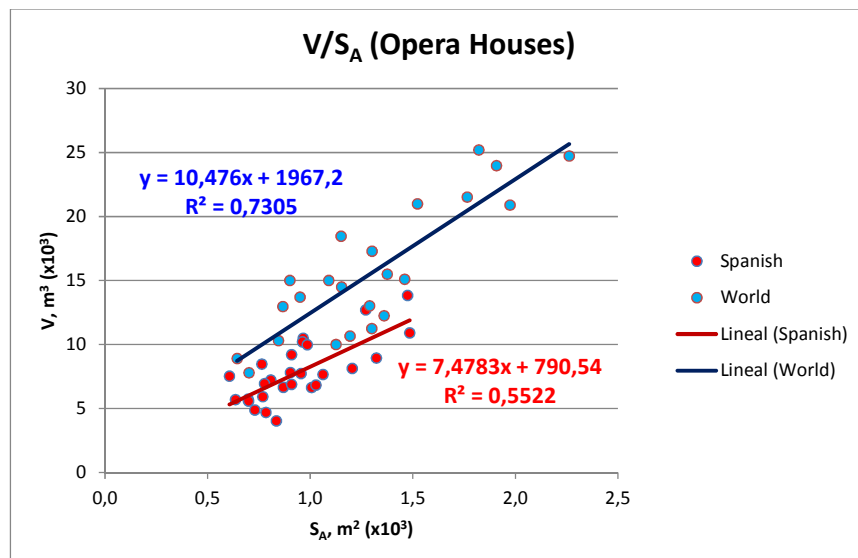


Fig. 5.16 Comparación entre la relación volumen y superficie de audiencia entre Opera Houses internacionales y españolas.

Misma relación que en la gráfica anterior, ya que varían muy poco los valores entre S_A y S_T , pero aquí se ve de forma más clara que los volúmenes en función de las superficies son mayores en el caso de las salas internacionales.

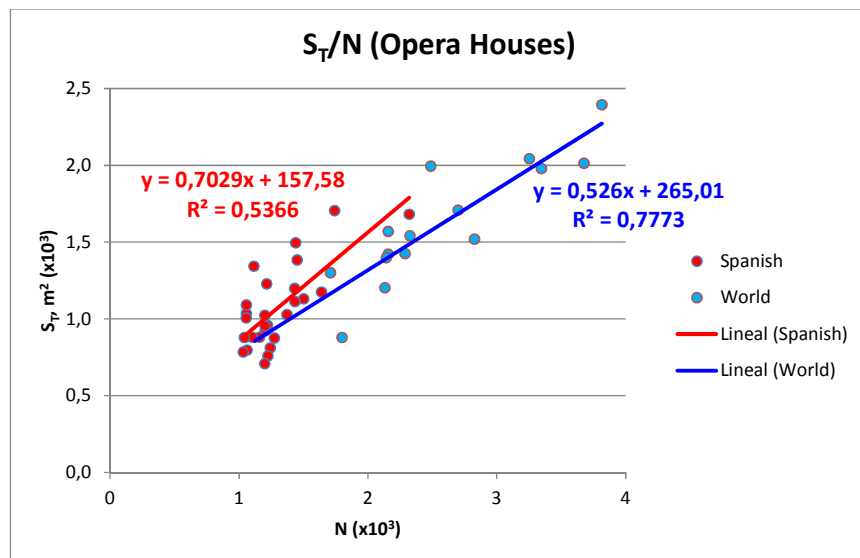


Fig. 5.16 Comparación entre la relación superficie total y aforo entre Opera Houses internacionales y españolas.

Vemos que existe una dependencia entre el aforo y la superficie total de las salas, tanto nacionales como internacionales. Esta correlación es más fuerte en el caso de las últimas, ya que en las salas españolas de menor aforo encontramos diversidad de superficies.

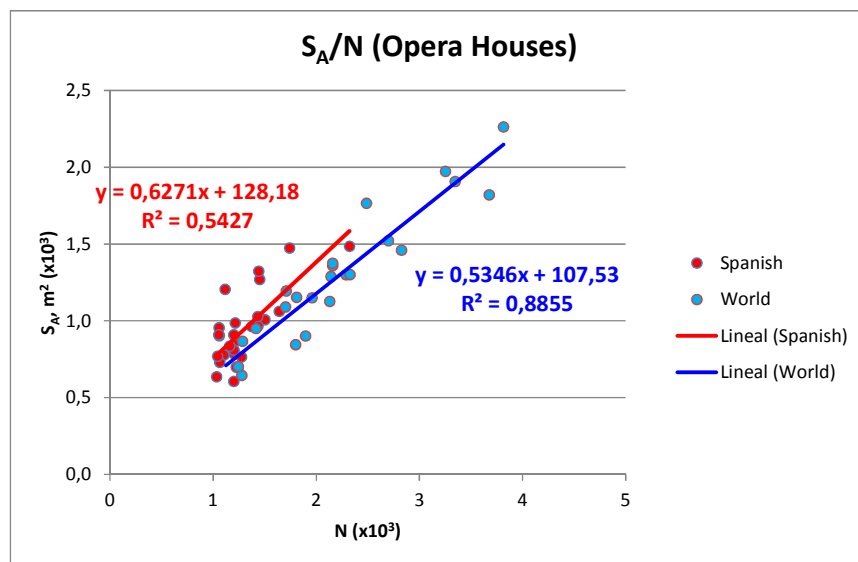


Fig. 5.17 Comparación entre la relación superficie de audiencia y aforo entre Opera Houses internacionales y españolas.

Correlación positiva entre el aforo y la superficie dedicada a los espectadores. Dicha relación es más clara en las salas internacionales, en las nacionales, como en el caso anterior, encontramos, para aforos de uno 1000 espectadores, diversidad de superficie por espectador. También se observa en la gráfica, que en las salas españolas, a mayor aforo, existe mayor superficie por persona en comparación con las internacionales.

5.4 COMPARATIVA SALAS DE CONCIERTO VS SALAS DE ÓPERA

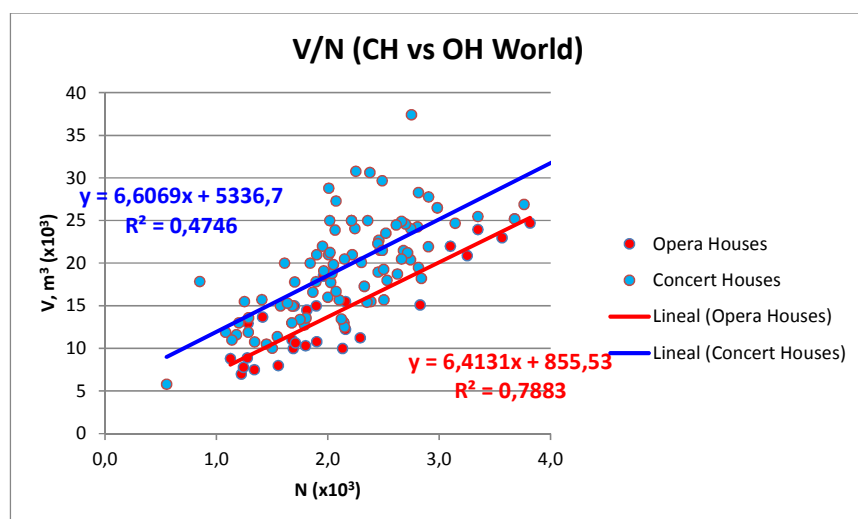


Fig. 5.18 Comparación entre la relación volumen y aforo entre Opera y Concert Houses internacionales

En la Fig. 5.18 podemos ver que hay una proporción muy parecida entre el aforo volumen para las salas dedicadas a concierto y para las de teatro. Observamos que las salas de concierto están construidas con mayor volumen por espectador.

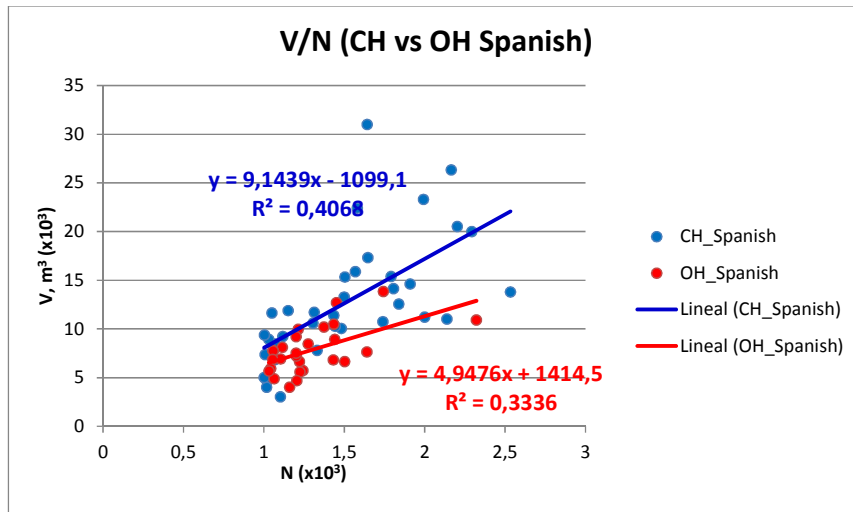


Fig. 5.19 Comparación entre la relación volumen y aforo entre Opera y Concert Houses españolas

Observamos que en el caso de las salas españolas, la correlación entre el volumen y aforo de la sala no es tan fuerte como en el caso de las internacionales, hay mayor dispersión de datos. Se aprecia que también en España, las salas para conciertos son de mayor capacidad.

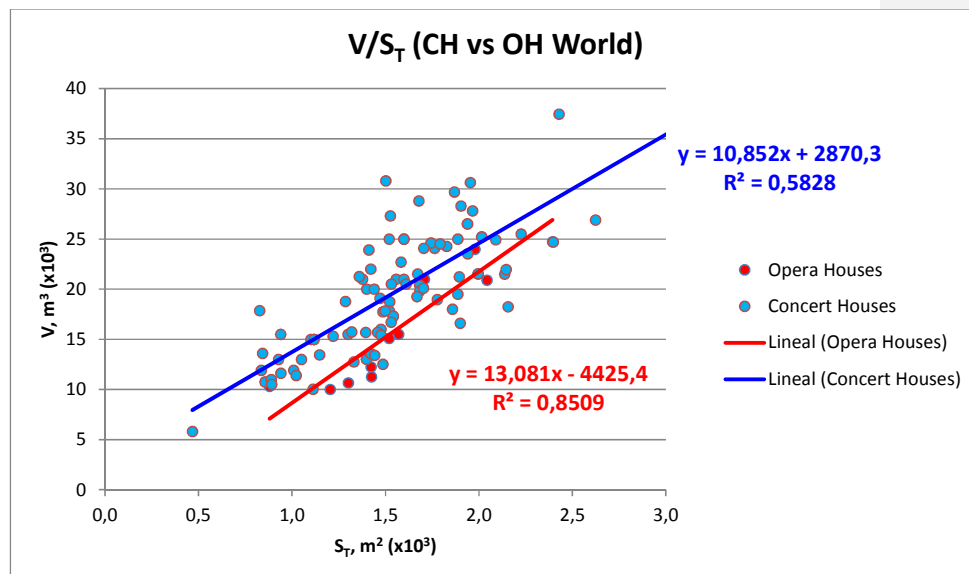


Fig. 5.20 Comparación entre la relación volumen y superficie total entre Opera y Concert Houses internacionales

Volvemos a apreciar que se construyen salas de mayor capacidad para hacer conciertos y que existe una relación directa entre el volumen y la superficie total en las salas internacionales.

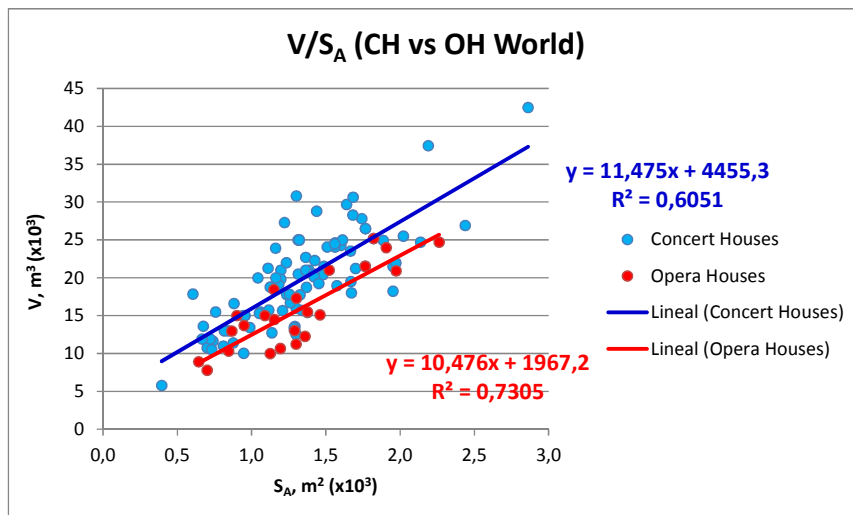


Fig. 5.21 Comparación entre la relación volumen y superficie de audiencia entre Opera y Concert Houses internacionales

En esta gráfica observamos que hay una correlación en las salas destinadas a ambos usos, entre el volumen y la superficie destinada a la audiencia. La relación entre ambas magnitudes es muy parecida en los dos tipos de salas.

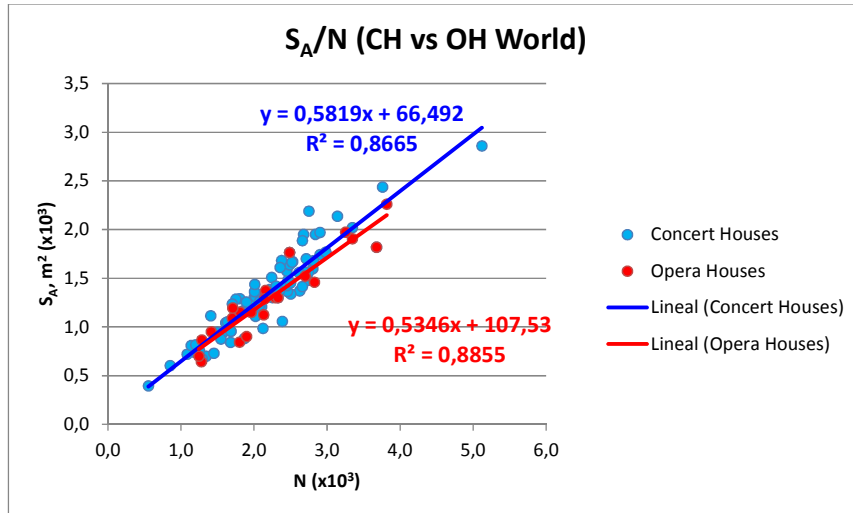


Fig. 5.22 Comparación entre la relación superficie de audiencia y aforo entre Opera y Concert Houses internacionales

En Fig. 5.22 vemos que no hay una clara diferencia en cuanto a la superficie por persona entre las salas dedicadas a conciertos y las dedicadas a ópera/teatro.

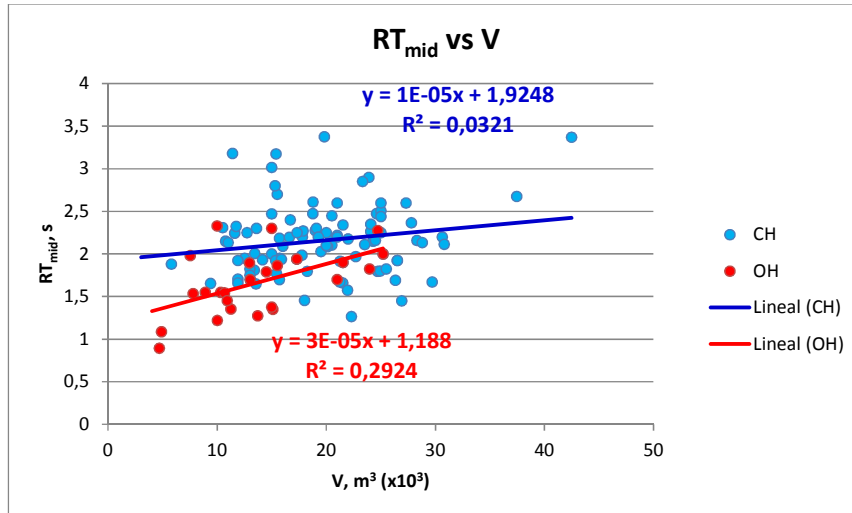


Fig. 5.23 Comparación entre la relación del tiempo de reverberación con el volumen entre Opera y Concert Houses

En Fig. 5.28 se muestra la relación entre el Tiempo de Reverberación medio y el volumen de las salas, para las destinadas a conciertos y para las destinadas a ópera/teatro. Teóricamente existe una relación lineal entre ambas magnitudes, pero vemos que en la realidad esto no ocurre, la correlación entre ambas magnitudes no es fuerte, siendo peor en el caso de aquellas salas que han sido construidas como salas de conciertos.

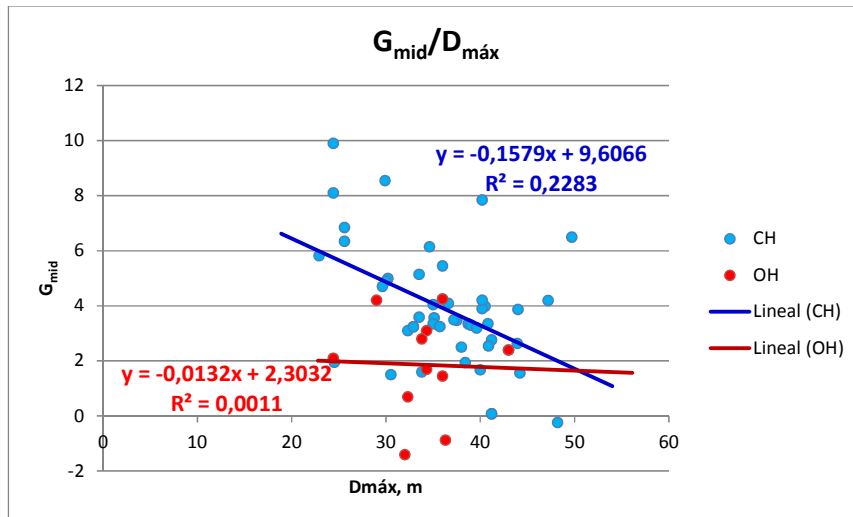


Fig. 5.29 Comparación entre la relación de fuerza acústica y distancia máxima a la fuente entre Opera y Concert Houses

En Fig. 5.29 se representa la relación entre la fuerza acústica y la distancia máxima a la fuente. Teóricamente estas magnitudes están relacionadas, de tal manera, que G_{mid} disminuye al aumentar dicha distancia, sin embargo dicha relación no se aprecia en la gráfica.

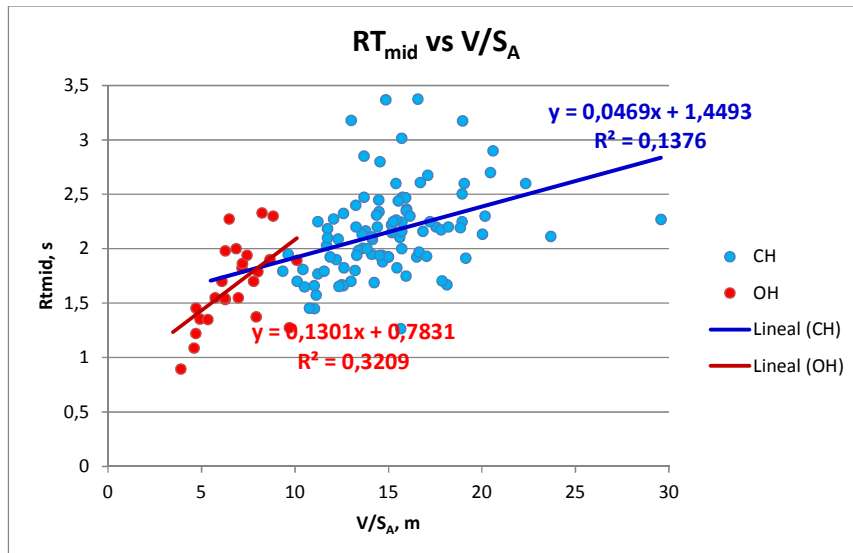


Fig. 5.30 Comparación entre la relación tiempo de reverberación y volumen por superficie de audiencia entre Opera y Concert Houses

Vemos que existe una relación directa entre los tiempos de reverberación y la relación entre el volumen y la superficie de audiencia de la sala. Dicha relación presenta mayor dispersión en el caso de las salas de conciertos, donde crece más lentamente.

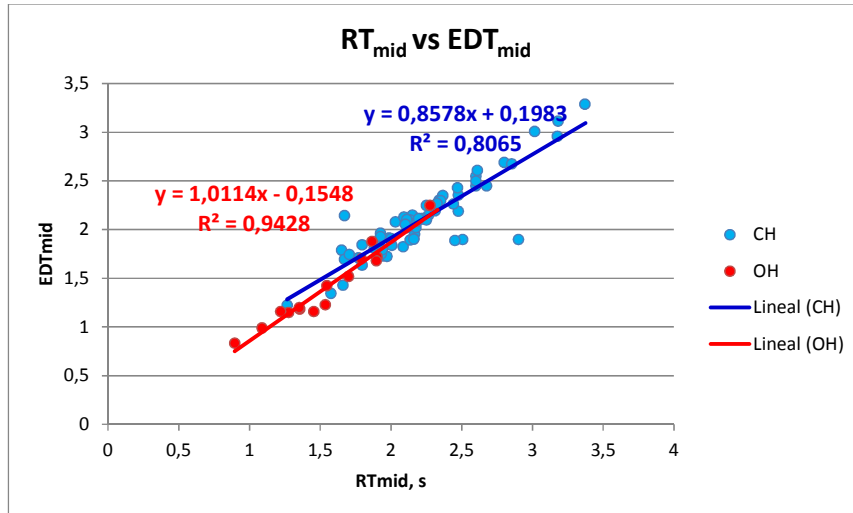


Fig. 5.31 Comparación entre la relación entre los tiempos de reverberación y el EDT entre Opera y Concert Houses

En Fig. 5.31 se representa la relación entre RT_{mid} y EDT_{mid}. Estas magnitudes deberían coincidir en el caso en el que la difusión del sonido fuera perfecta. Podemos observar que dicha condición se aproxima más en las salas dedicadas a la ópera/teatro, puede ser debido a que la geometría es más regular en éstas o poseen una distribución homogénea y uniforme de los materiales utilizados como revestimientos.

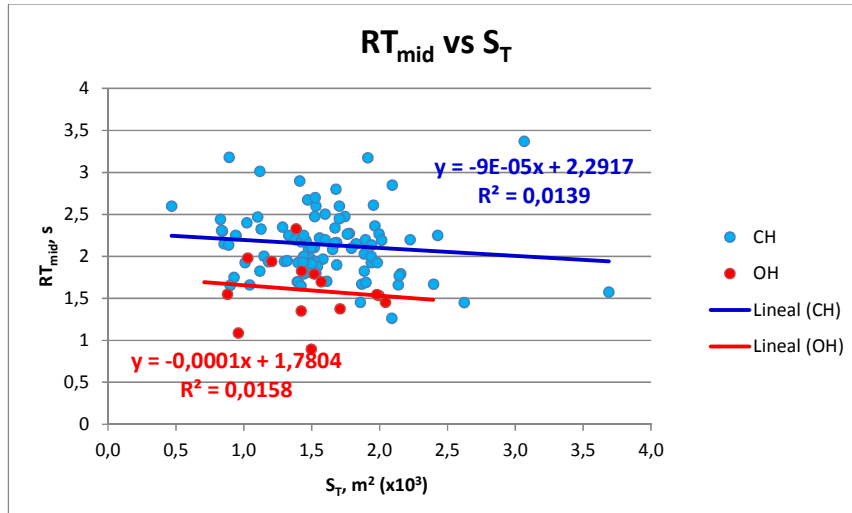


Fig. 5.32 Comparación entre la relación de los tiempos de reverberación y la superficie total entre Opera y Concert Houses

En Fig. 5.32 se representa la relación entre el tiempo de reverberación medio y la superficie total del recinto, comparando dicha relación entre las salas de conciertos y las de óperas. En ambos casos el tiempo de reverberación es menor en aquellas salas con mayor superficie, como era de esperar. Además también se puede apreciar que en las salas destinadas a conciertos, el tiempo de reverberación es mayor.

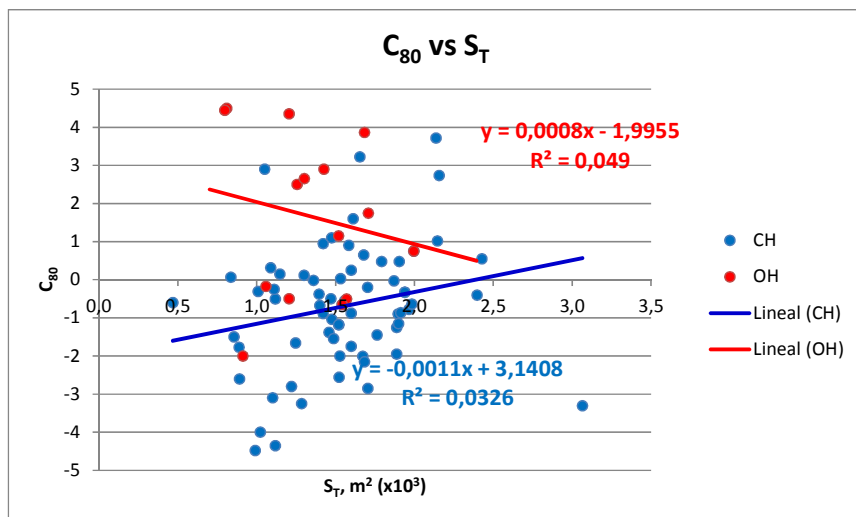


Fig. 5.33 Comparación entre la relación claridad musical y superficie total entre Opera y Concert Houses

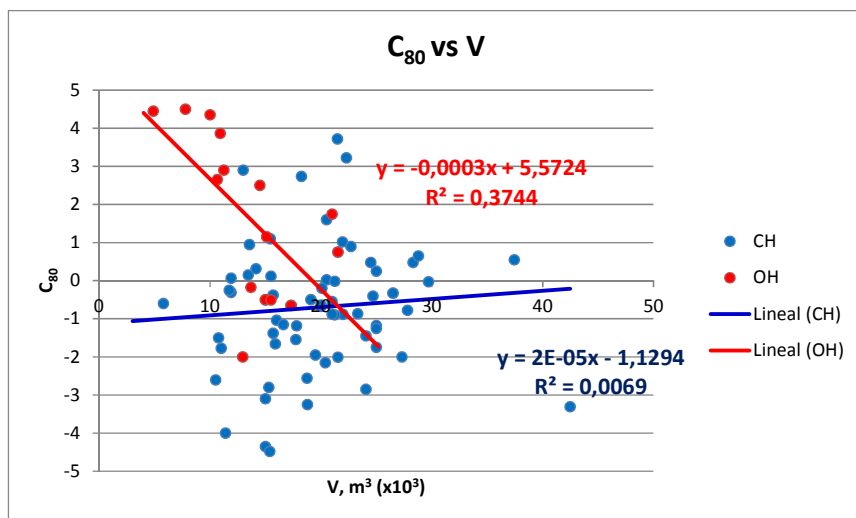


Fig. 5.34 Comparación entre la relación claridad musical y volumen entre Opera y Concert Houses

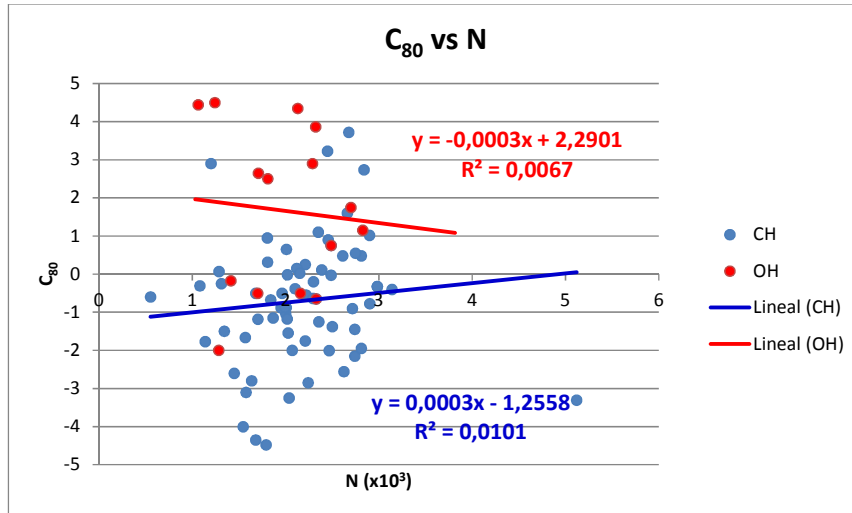


Fig. 5.35 Comparación entre la relación claridad musical y aforo entre Opera y Concert Houses

En Fig. 5.33, Fig. 5.34 y Fig. 5.35 se representa la relación entre C₈₀ y algunos detalles técnicos, comparándola a su vez entre las salas de conciertos y las salas para ópera/teatro. No se ha encontrado una correspondencia tal y como se esperaba, pero se pueden extraer algunas conclusiones como que, en las salas que han sido construidas para conciertos, la claridad musical es menor, y en éstas la mayoría de los valores son negativos, al contrario de lo que ocurre en las salas construidas para ópera/teatro. También se observa que hay una relación directa (aunque hay mucha dispersión de datos) entre C₈₀ y la superficie total, volumen y aforo en las salas de conciertos, mientras que esta relación es inversa en el caso de que las salas estén destinadas a ópera/teatro.

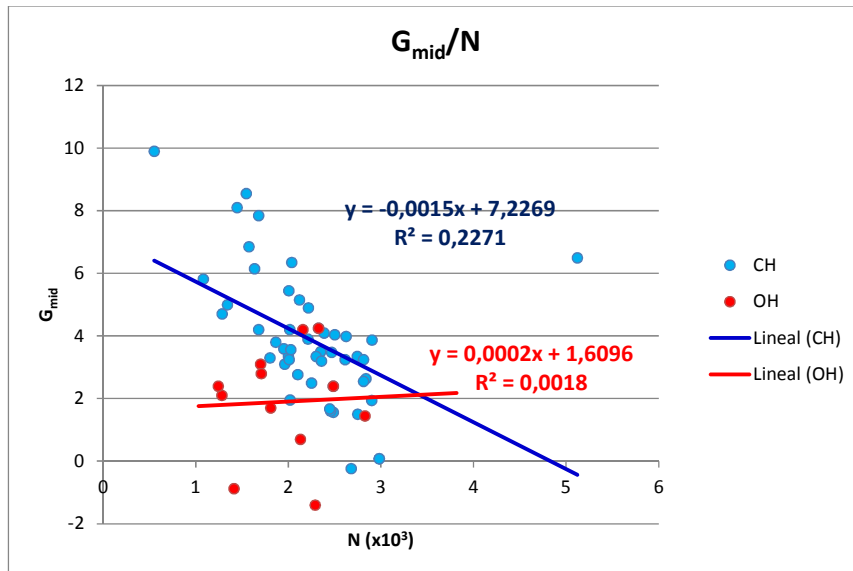


Fig 5.36 Comparación entre la relación de fuerza acústica y aforo entre Opera y Concert Houses

En Fig 5.36 podemos observar que en el caso de las salas dedicadas a conciertos se cumple lo que dice la teoría, que al aumentar el número de personas en un local, la fuerza acústica disminuye. En el caso de las salas dedicadas a ópera/teatro no tenemos una relación significativa.

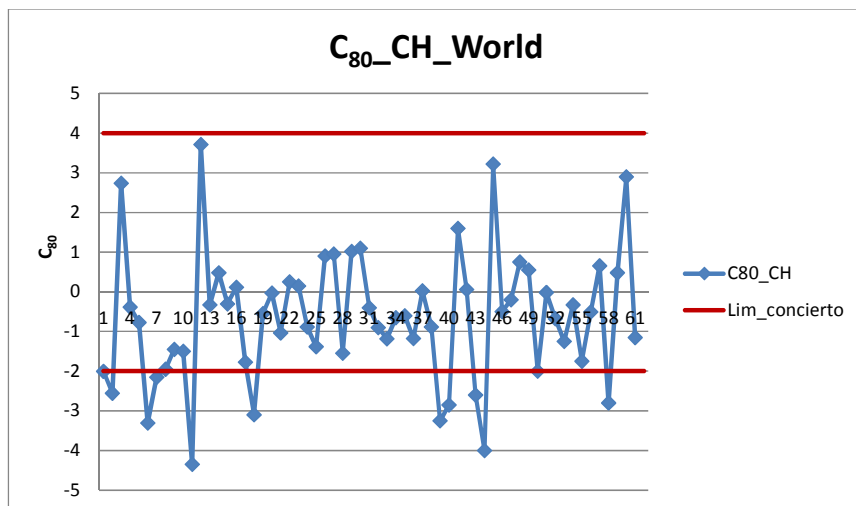


Fig. 5.37 Relación entre los datos analizados y los valores recomendados de la claridad musical en Concert Houses

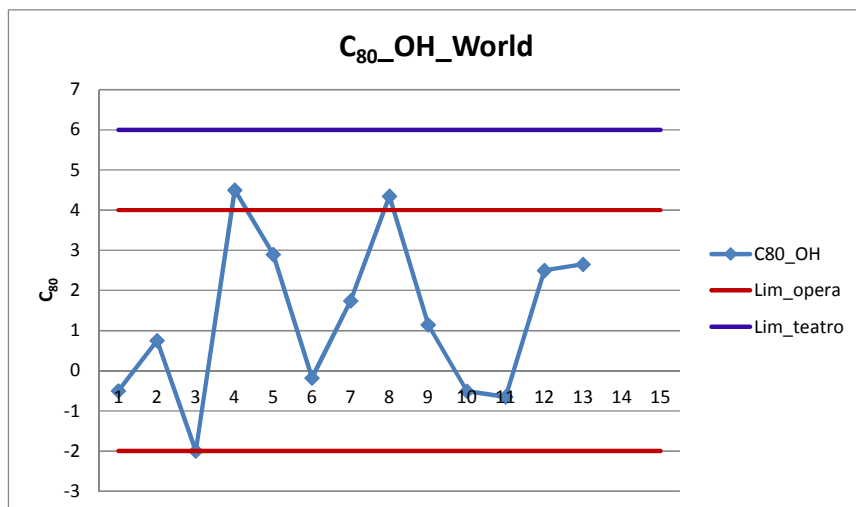


Fig. 5.38 Relación entre los datos analizados y los valores recomendados de la claridad musical en Opera Houses

Observamos que la claridad musical medida en las salas de ópera, en sala vacía, está entre los valores recomendados. En las salas para conciertos hay más valores que se salen de los límites recomendados.

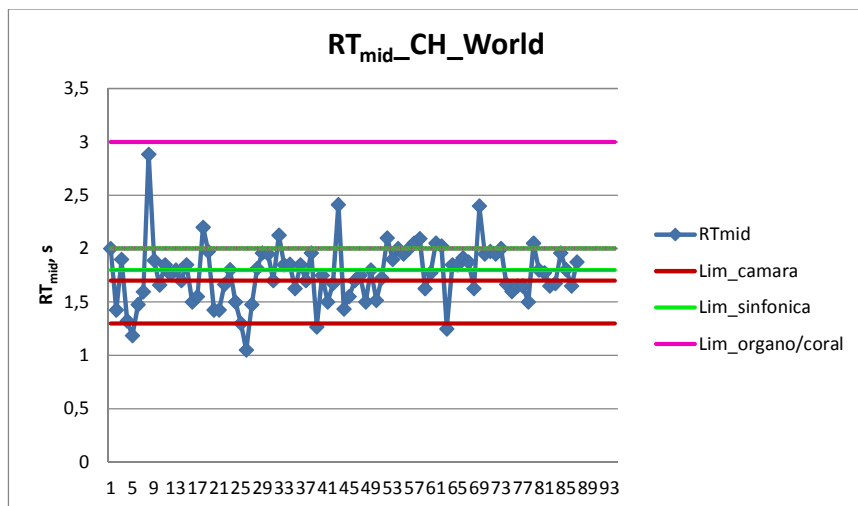


Fig. 5.39 Relación entre los datos analizados y los valores recomendados de los tiempos de reverberación en Concert Houses

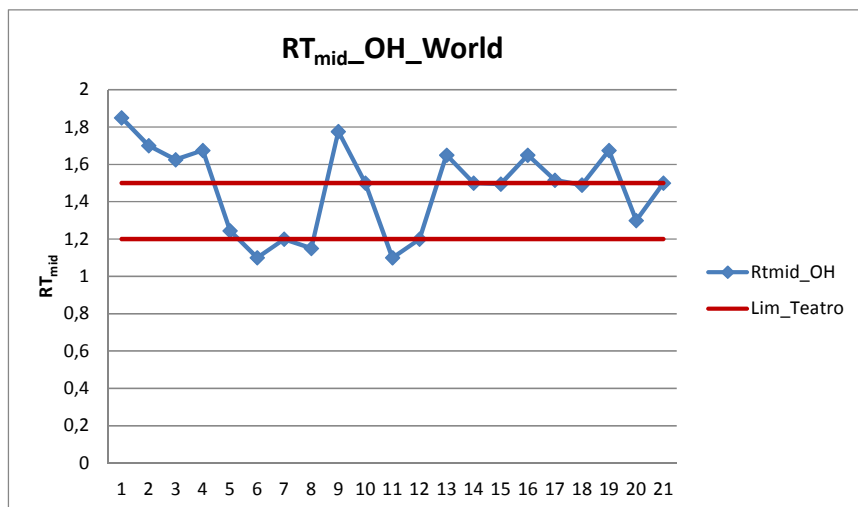


Fig. 5.40 Relación entre los datos analizados y los valores recomendados de los tiempos de reverberación en Opera Houses

En el caso de los tiempos de reverberación, los obtenidos en las salas de concierto se ajustan más a los límites recomendados. En las salas dedicadas a ópera hay varios valores que exceden el límite superior recomendado.

CONCLUSIONES

1. Se han recopilado y completado datos sobre detalles técnicos y parámetros de 126 auditorios internacionales y 63 nacionales y se han ordenado en función del uso de la sala: Concert Houses y Opera Houses.
2. Se ha llevado a cabo un análisis comparativo de los detalles técnicos y parámetros acústicos de dichos auditorios, observando que los valores de volumen y aforo en los recintos internacionales son superiores a los nacionales, con ratios de 1,75 y 1,55, respectivamente. El ratio del volumen promedio por persona ($\text{m}^3/\text{persona}$) es de 1,17.

Se ha observado que a finales de los años 90, en España hubo una tendencia a construir los auditorios con mayor capacidad. En general, las salas que son destinadas a conciertos, han sido construidas con mayor capacidad que las destinadas a ópera/teatro.

3. En el programa Odeon, la mayor desviación de los estimadores $T_{30,S}$ y $T_{30,Sm}$ debe ser atribuida a que las hipótesis de campo difuso no se cumplen adecuadamente. Por otra parte, el propio procedimiento de estimación para el T_{30GE} (tal como se explica en el manual) es, realmente, parecido al promedio llevado a cabo para el cálculo del T_{30Mav} .
4. La claridad musical toma valores más altos en las salas de ópera/teatro, y en las de concierto se ajustan más a los valores recomendados.
5. Varias salas de ópera/teatro exceden los valores recomendados de tiempo de reverberación medio para este tipo de salas.

REFERENCIAS

- [1] Leo L. Beranek, *Concert Halls and Opera Houses: How They Sound*, Springer, N.Y. 2004
- [2] <http://www.mirem.net/web/mireinfo.php>
- [3] Laura Ruiz Domínguez, *Comparación de resultados obtenidos mediante procedimientos experimentales y computacionales en la caracterización acústica de recintos*, PFC, Laboratorio de Acústica, Dpto. de Física, UPNA. Abril, 2015
- [4] Juan Cetina Panzano, *Teatros y auditorios de gran capacidad. Características técnicas y acústicas*, PFC, Laboratorio de Acústica, Dpto. de Física, UPNA. Febrero, 2015
- [5] ODEON: *room acoustics program*. User manual: Industrial, Auditorium and Combined Editions.

APÉNDICE

Tabla 1. Listado de “CONCERT HOUSES” internacionales analizados

1	Baltimore, Joseph Meyerhoff Symphony Hall
2	Bloomington, Indiana University Auditorium
3	Boston, Symphony Hall
4	Buffalo, Kleinhans Music Hall
5	Chicago, Orchestra Hall
6	Cleveland, Severance Hall
7	Costa Mesa, Segerstrom Hall, Orange County Performing Arts Center
8	Dallas, McDermott Concert Hall un Meyerson Symphony Center
9	Lenox, Massachusetts, Tanglewood, Koussevitzky Music Shed
10	Lenox, Massachusetts, Seiji Ozawa Hall
11	Minneapolis, Minnesota Orchestra Hall
12	New York, Avery Fisher Hall
13	New York, Carnegie Hall
14	Salt Lake City, Abravanel Symphony hall
15	San Francisco, Davies Symphony Hall
16	J.F. Kennedy Center of performing arts, Opera House
17	Worcester, Massachusetts, The Grand Hall, Mechanics Hall
18	Sydney Opera House, Concert Hall
19	Vienna, Grosser Musikvereinssaal
20	Brussels, Palais des Beaux-Arts
21	Edmonton, Northern Alberta Jubilee Auditorium
22	Montreal, Salle Wilfrid-Pelletier
23	Tronto, Roy Thomson Hall
24	Copenhagen, Radiohuset, Studio 1
25	Copenhagen, Tivoli Kocertsal
26	Helsinki, Kulttuuritalo
27	Paris, Salle Pleyel
28	Berlin Kammermusikaal Der Philharmonie
29	Berlin, Konzerthaus
30	Berlin, Philharmonie
31	Bonn, Beethovenhalle
32	Leipzig, Gewandhaus
33	Munich, Herkulesaal
34	Munich, Philharmonie Am Gasteig
35	Stuttgart, Liederhalle, Grosser Saal
36	Birmingham, Symphonie Hall
37	Bristol, Colston Hall
38	Cardiff, Wales St.Davids Hall
39	Edinburgh, Usher Hall
40	Glasgow, Scotland, Royal Concert Hall
41	Liverpool. Philharmonic Hall
42	London Barbican, Large Concert Hall
43	London Royal Albert Hall
44	London, Royal Festival Hall
45	Manchester, Free trade Hall
46	Budapest, Patria Hall in convention center

47	Jersulaem, Binyanei Ha'Oomah
48	Tel Aviv, Frederic R.Mann Auditorium
49	Osaka, Symphony Hall
50	Tokyo, Bunka Kaikan (Ueno)
51	Tokyo, Hamarikyū Asahi Hall
52	Tokyo, Metropolitan Art Space
53	Tokyo, Orchard Hall, Bunkamura
54	Tokyo, Suntory Hall
55	Mexico City, Sala Nezahualcoyotl
56	Amsterdam, Concertgebouw
57	Rotterdam, De Doeln, Concertgebouw
58	Christchurch, Town Hall
59	Gothenburg, Konserthus
60	Basel, Stadt Casino
61	Zurich, Grosser Tonhalle
62	Taipei, Cultural Centre, Concert Hall
63	Caracas, Aula Magna
64	America: Akron, E.J. Thomas Performing Arts
65	America: Detroit, Orchestra Hall
66	Washington, DC, JFK Concert Hall
67	Canada: Brandon, Manitoba, Western Manitoba Centennial Auditorium
68	Aspen, Benedict Music Tent
69	Athens, Megaron Concert Hall
70	Baden-Baden, Festspielhaus
71	Belfast, Waterfront Hall
72	Buenos Aires, Teatro Colón
73	Denver, Boettcher Hall
74	Fort Worth, Bass Performance Hall
75	Hong Kong, Cul. Ctr. Concert Hall
76	Kuala Lumpur, Dewan Fil. Petronas
77	Kyoto, Concert Hall
78	Lahti, Sibelius/Talo
79	Lucerne, Cultural Ctr. Concert Hall
80	Manchester, Bridgewater Hall
81	Montreal, Salle Wilfrid-Pelletier
82	Odense, Koncerthus, Nielsen Hall
83	Philadelphia, Verizon Hall, Kimmel Center
84	Rochester, NY, Eastman Theatre
85	Salzburg, Festspielhaus
86	Sao Paulo, Sala Sao Paulo
87	Sapporo, Concert Hall
88	Seattle, Benayora Hall
89	Shanghai, Grand Theatre
90	Tokyo, NHK Hall
91	Tokyo, Opera City Concert Hall
92	Toronto, Roy Thompson Hall
93	Trondheim, Olavshallen
94	Vienna, Konzerthaus

Tabla 2. Detalles técnicos “Concert Houses” internacionales

	Año const.	Aforo (N)	V (m³)	S _A (m²)	S ₀ (m²)	D (máx)	H (m)	W (m)	L (m)
1	1982	2467	21524	1486	186	37,5	18,0	29,3	35,4
2		3760	26900	2438	186	54,0	13,7	39,3	52,7
3	1900	2625	18750	1370	152	40,5	18,6	22,9	39,0
4	1900-1950	2839	18240	1951	205	43,9	13,4	39,3	37,5
5	1904	2530	18000	1672	186	34,5	18,0	28,7	25,6
6	1931	2101	15690	1208	186	41,2	16,8	27,4	32,9
7	1986	2903	27800	1742	223	44,0	24,4	41,5	36,2
8	1989	2065	23900	1161	250	40,5	26,2	25,6	30,8
9	1938	5121	42480	2861	204	49,7	13,4	61,0	50,9
10	1994	1180	11610	739	202	28,6	14,9	20,7	28,6
11	1974	2450	18975	1574	203	40,8	16,5	28,6	38,1
12	1962	2742	20400	1480	203	41,2	16,8	25,9	38,4
13	1962	2804	24270	1600	227	44,8	23,8	25,9	32,9
14	1960	2812	19500	1669	218	40,9	16,5	29,3	37,8
15	1980	2743	24070	1562	200	38,7	20,7	28,0	32,6
16	1971	2142	13027	1289	109	35,1	17,1	31,7	32,0
17	1857	1343	10760	701	154	30,2	12,5	24,7	27,1
18	1973	2696	24600	1563	181	44,5	16,8	33,2	31,7
19	1870	1680	15000	955	163	40,2	17,4	19,8	35,7
20	1929	2150	12520	1300	186	35,7	29,3	23,2	31,1
21		2678	21500	1951	186	48,2	15,8	34,8	40,0
22	1963	2982	26500	1767	172	41,2	23,5	32,9	37,5
23	1982	2812	28300	1681	222	32,9	23,2	31,1	27,1
24	1945	1081	11900	721	288	22,9	17,7	33,5	18,6
25		1789	12740	1136	195	34,4	13,7	33,2	32,3
26		1500	10025	946	166	32,9	9,5	46,0	23,8
27	1927	2386	15500	1058	242	36,6	18,6	25,6	30,5
28	1987	1138	11000	810	78	18,9	11,3	48,5	18,3
29	1821	1575	15000	943	158	25,6	17,7	20,7	24,1
30	1963	2218	21000	1385	173	30,0	12,8	42,7	29,0
31	1959	1407	15728	1115	204	38,1	12,2	36,6	34,8
32	1884	1900	21000	1197	181	32,9	19,8	36,0	32,3
33	1953	1287	13590	674	168	32,9	15,5	22,0	32,0
34	1985	2487	29700	1639	230	44,2	14,6	51,2	40,8
35	1992	2000	16000	1300	176	40,8	13,4	36,2	41,8
36	1991	2211	25000	1320	279	40,2	22,9	27,4	31,7
37		2121	13450	987	160	33,5	17,7	22,6	27,4
38	1982	1952	22000	1235	186	33,5	18,0	27,4	27,4
39	1914	2502	15700	1338	120	35,0	17,0	23,8	30,5
40	1990	2457	22700	1365	218	33,8	19,2	32,9	27,8
41	1939	1803	13560	1291	130	39,0	14,0	30,0	28,6
42	1982	2026	17750	1326	160	35,1	14,3	39,3	27,4
43	1871	5222	86650	3512	176	42,7	36,0	47,0	44,5
44	1951	2901	21950	1972	173	38,4	15,2	32,3	36,8
45		2351	15430	1375	100	37,2	20,7	24,4	28,0
46	1985	1750	13400	1286	156	26,5	13,1	42,1	26,2
47	1960	3142	24700	2137	260	45,1	13,7	47,6	37,2
48	1957	2715	21240	1700	195	38,7	12,2	40,2	30,5

49	1957	1702	17800	1236	285	30,0	20,7	31,7	28,3
50	1982	2327	17300	1301	241	36,0	17,4	26,5	31,7
51	1992	552	5800	395	73	24,4	12,0	15,0	24,7
52	1990	2017	25000	1312	207	47,2	15,5	28,0	35,0
53	1989	2150	20500	1314	217	40,0	23,0	24,4	38,4
54	1986	2006	21000	1364	235	36,0	16,5	31,1	30,5
55	1976	2376	30640	1684	270	42,0	15,8	40,8	34,4
56	1888	2037	18780	1125	160	25,6	17,1	27,7	26,2
57	1966	2242	24070	1509	195	38,4	14,3	31,7	32,3
58	1972	2662	20500	1416	194	28,4	18,6	29,3	28,0
59	1935	1286	11900	666	170	29,6	13,7	25,3	30,5
60	1776	1448	10500	731	160	24,4	15,2	21,0	23,5
61	1895	1546	11400	877	145	29,9	14,0	19,5	29,6
62	1987	2074	16700	1261	269	36,4	18,0	26,8	32,3
63	1954	2660	24920	1886	204	35,4	17,7	57,6	31,1
64									
65									
66	1971	2448	22300	1425	228	40,0	15,9	28,4	36,6
67									
68	1949	2050	19830	1197	487	29,5	13,4	41,5	30,0
69	1971	1962	19100	1183	287	32,3	17,1	35,7	31,8
70	1998	2300	20100	1421	282	35,0	22,0	30,0	28,0
71		2250	30800	1301	200	38,0	19,4	30,0	30,0
72	1908	2487	21524	1765	230	43,0	26,5	24,4	34,4
73	1978	2750	37444	2190	238	30,5	12,2	53,0	59,0
74	1998	2072	27300	1222	304	40,0	25,0	21,6	28,6
75	1989	2019	21250	1111	248	24,5	20,0	32,5	25,0
76		850	17860	604	223	23,5	16,5	22,6	23,2
77	1995	1840	20000	1162	237	36,0	15,0	35,3	35,1
78	1998	1250	15500	758	181	30,0	19,0	23,0	42,0
79	1999	1892	17823	1256	242	36,0	23,5	22,0	27,4
80	1996	2357	25000	1611	276	39,6	23,5	26,2	29,6
81	1963	2982	26500	1767	172	41,2	23,5	32,9	37,5
82	1982	2211	25000	1320	279	40,2	22,9	27,4	31,7
83	1908	2519	23520	1666	274	42,7	22,9	25,6	27,4
84	1923	3347	25500	2021	204	43,3	20,4	36,6	35,7
85	1960	1680	15000	955	163	40,2	17,4	19,8	35,7
86	1999	1610	20000	1043	396	30,5	18,3	23,2	29,9
87	1997	2008	28800	1438	240	35,7	21,3	30,5	22,0
88	1998	2500	19263	1452	216	40,8	18,3	25,9	35,7
89	1998	1676	13000	842	85	33,2	20,1	35,4	91,0
90	1973	3677	25200	1821	193	47,6	14,9	33,2	36,6
91	1997	1636	15300	1052	168	34,6	21,5	20,0	33,8
92	1982	2613	24500	1560	232	32,9	23,2	31,1	21,1
93	1989	1200	13000	816	234	31,0	18,0	26,2	30,0
94	1913	1865	16600	881	1018	137,0	14,0	28,4	29,0

Tabla 3. Detalles técnicos “Concert Houses” internacionales

	S _T	V/N	V/SA	V/S _T	SA/N	H/W	L/W
	S _A +S _o	m ³ /seat	(m)	(m)	(m ³ /seat)		
1	1672	8,72	14,48	12,87	0,60	0,61	1,21

2	2624	7,15	11,03	10,25	0,65	0,35	1,34
3	1522	7,14	13,69	12,32	0,52	0,81	1,70
4	2156	6,42	9,35	8,46	0,69	0,34	0,95
5	1858	7,11	10,77	9,69	0,66	0,63	0,89
6	1394	7,47	12,99	11,26	0,57	0,61	1,20
7	1965	9,58	15,96	14,15	0,60	0,59	0,87
8	1411	11,57	20,59	16,94	0,56	1,02	1,20
9	3065	8,30	14,85	13,86	0,56	0,22	0,83
10	941	9,84	15,71	12,34	0,63	0,72	1,38
11	1777	7,74	12,06	10,68	0,64	0,58	1,33
12	1683	7,44	13,78	12,12	0,54	0,65	1,48
13	1827	8,66	15,17	13,28	0,57	0,92	1,27
14	1887	6,93	11,68	10,33	0,59	0,56	1,29
15	1762	8,78	15,41	13,66	0,57	0,74	1,16
16	1398	6,08	10,11	9,32	0,60	0,54	1,01
17	855	8,01	15,35	12,58	0,52	0,51	1,10
18	1744	9,12	15,74	14,11	0,58	0,51	0,95
19	1118	8,93	15,71	13,42	0,57	0,88	1,80
20	1486	5,82	9,63	8,43	0,60	1,26	1,34
21	2137	8,03	11,02	10,06	0,73	0,45	1,15
22	1939	8,89	15,00	13,67	0,59	0,71	1,14
23	1903	10,06	16,84	14,87	0,60	0,75	0,87
24	1009	11,01	16,50	11,79	0,67	0,53	0,56
25	1331	7,12	11,21	9,57	0,63	0,41	0,97
26	1112	6,68	10,60	9,02	0,63	0,21	0,52
27	1300	6,50	14,65	11,92	0,44	0,73	1,19
28	888	9,67	13,58	12,38	0,71	0,23	0,38
29	1101	9,52	15,91	13,62	0,60	0,86	1,16
30	1558	9,47	15,16	13,48	0,62	0,30	0,68
31	1319	11,18	14,11	11,92	0,79	0,33	0,95
32	1378	11,05	17,54	15,24	0,63	0,55	0,90
33	842	10,56	20,16	16,14	0,52	0,70	1,45
34	1869	11,94	18,12	15,89	0,66	0,29	0,80
35	1476	8,00	12,31	10,84	0,65	0,37	1,15
36	1599	11,31	18,94	15,63	0,60	0,84	1,16
37	1147	6,34	13,63	11,73	0,47	0,78	1,21
38	1421	11,27	17,81	15,48	0,63	0,66	1,00
39	1458	6,27	11,73	10,77	0,53	0,71	1,28
40	1583	9,24	16,63	14,34	0,56	0,58	0,84
41	1421	7,52	10,50	9,54	0,72	0,47	0,95
42	1486	8,76	13,39	11,94	0,65	0,36	0,70
43	3688	16,59	24,67	23,50	0,67	0,77	0,95
44	2145	7,57	11,13	10,23	0,68	0,47	1,14
45	1475	6,56	11,22	10,46	0,58	0,85	1,15
46	1442	7,66	10,42	9,29	0,73	0,31	0,62
47	2397	7,86	11,56	10,30	0,68	0,29	0,78
48	1895	7,82	12,49	11,21	0,63	0,30	0,76
49	1521	10,46	14,40	11,70	0,73	0,65	0,89
50	1542	7,43	13,30	11,22	0,56	0,66	1,20
51	468	10,51	14,68	12,39	0,72	0,80	1,65
52	1519	12,39	19,05	16,46	0,65	0,55	1,25
53	1531	9,53	15,60	13,39	0,61	0,94	1,57
54	1599	10,47	15,40	13,13	0,68	0,53	0,98

55	1954	12,90	18,19	15,68	0,71	0,39	0,84
56	1285	9,22	16,69	14,61	0,55	0,62	0,95
57	1704	10,74	15,95	14,13	0,67	0,45	1,02
58	1610	7,70	14,48	12,73	0,53	0,63	0,96
59	836	9,25	17,87	14,23	0,52	0,54	1,21
60	891	7,25	14,36	11,78	0,50	0,72	1,12
61	1022	7,37	13,00	11,15	0,57	0,72	1,52
62	1530	8,05	13,24	10,92	0,61	0,67	1,21
63	2090	9,37	13,21	11,92	0,71	0,31	0,54
64							
65							
66							
67							
68	1684	9,67	16,57	11,78	0,58	0,32	0,72
69	1470	9,73	16,15	12,99	0,60	0,48	0,89
70	1703	8,74	14,14	11,80	0,62	0,73	0,93
71	1501	13,69	23,67	20,52	0,58	0,65	1,00
72	1995	8,65	12,19	10,79	0,71	1,09	1,41
73	2428	13,62	17,10	15,42	0,80	0,23	1,11
74	1526	13,18	22,34	17,89	0,59	1,16	1,32
75	1359	10,53	19,13	15,64	0,55	0,62	0,77
76	827	21,01	29,57	21,60	0,71	0,73	1,03
77	1399	10,87	17,21	14,30	0,63	0,42	0,99
78	939	12,40	20,45	16,51	0,61	0,83	1,83
79	1498	9,42	14,19	11,90	0,66	1,07	1,25
80	1887	10,61	15,52	13,25	0,68	0,90	1,13
81	1939	8,89	15,00	13,67	0,59	0,71	1,14
82	1599	11,31	18,94	15,63	0,60	0,84	1,16
83	1940	9,34	14,12	12,12	0,66	0,89	1,07
84	2225	7,62	12,62	11,46	0,60	0,56	0,98
85	1118	8,93	15,71	13,42	0,57	0,88	1,80
86	1439	12,42	19,18	13,90	0,65	0,79	1,29
87	1678	14,34	20,03	17,16	0,72	0,70	0,72
88	1668	7,71	13,27	11,55	0,58	0,71	1,38
89	927	7,76	15,44	14,02	0,50	0,57	2,57
90	2014	6,85	13,84	12,51	0,50	0,45	1,10
91	1220	9,35	14,54	12,54	0,64	1,08	1,69
92	1792	9,38	15,71	13,67	0,60	0,75	0,68
93	1050	10,83	15,93	12,38	0,68	0,69	1,15
94	1899	8,90	18,84	8,74	0,47	0,49	1,02

Tabla 4. Parámetros sala vacía “Concert Houses” internacionales

	T30						EDT						C80					
	125	250	500	1k	2k	4k	125	250	500	1k	2k	4k	125	250	500	1k	2k	4k
1	2,83	2,44	2,36	2,32	2,02	1,65	2,63	2,38	2,3	2,31	1,95	1,46	2,05	2,83	2,13	1,88	1,17	0,36
2	2	1,55	1,5	1,4	1,4	1,4												
3	2,12	2,3	2,39	2,56	2,59	2,26	2	2,12	2,26	2,45	2,57	2,14	-1,5	1,92	2,94	2,18	3,21	2,04
4	2,46	2,02	1,91	1,68	1,63	1,5	1,97	1,78	1,85	1,42	1,37	1,06	0,49	1,6	1,62	3,85	3,57	4,67
5	1,73	1,63	1,46	1,45	1,32	1,01												
6	2	1,7	1,7	1,7	1,5	1,4	1,7	1,71	1,74	1,72	1,68	1,45	0,37	0,02	0,47	0,29	0,07	0,73

7	2,52	2,25	2,27	2,46	2,26	1,97	2,5	2,2	2,3	2,4	2,2	1,9	-3,2	-	-	1,05	-0,5	0	1
8	3,44	3,16	2,93	2,87	2,87	2,58	2	2	1,8	2	1,8	1,6	-0,9	-4,2	0,7	-0,7	0,2	0,4	
9	4,13	4	3,65	3,09	2,65	2,29	3,42	3,87	3,6	2,98	2,49	2,16	-	-	-	-	-	-	-
10	2,34	2,36	2,21	2,28	2,16	1,7							0,62	3,92	3,85	2,76	1,29	0,65	
11	2,35	2,3	2,35	2,2	2,15	1,9													
12	1,93	1,98	2,15	2,18	2,06	1,8		2,0	2,01	1,9	1,64	1,24		-2,8	-2,3	-2	-0,2	0,8	
13	2,2	1,85	2,1	2,2	1,8	1,4													
14	2,08	1,92	2,03	2,03	1,92	1,72	2,05	1,99	2,09	2,07	1,94	1,7	-4,6	-3,9	-2,1	-1,8	-1,4	-0,9	
15	2,58	2,41	2,29	2,24	1,96	1,63	2,69	2,51	2,26	2,04	1,72	1,38	-5,1	-3,9	-2,3	-0,6	0,1	1,3	
16	2,2	2	1,8	1,6	1,5	1,4													
17	2,1	2,4	2,3	2	1,6	1,4	2,1	2,3	2,3	2	1,7	1,4	-1	-2	-2	-1	0	1	
18	2,25	2,4	2,3	2,65	2,6	2,2	2,18	2,28	2,16	2,22	2,18	2,1							
19	2,97	2,95	3,04	2,99	2,67	2,21	2,98	3,01	3,03	2,99	2,71	2,17	-5,1	-5,1	-4,7	-4	-3,1	-1,6	
20	2,2	2,4	2	1,9	1,75	1,6													
21	1,8	1,7	1,67	1,65	1,43	1,21	1,51	1,52	1,5	1,36	1,11	0,96	1,86	2,53	3,56	3,88	4,73	5,22	
22	2,49	2,1	1,98	1,87	1,69	1,29	2,47	2,18	1,98	1,88	1,61	1,19	-6,5	2,44	1,04	0,39	0,37	1,6	
23	2,37	2,22	2,21	2,11	1,94	1,49	2,23	2,01	1,97	1,84	1,56	1,18	4,48	1,58	0,01	0,95	0,74	2,92	
24	1,75	1,74	1,86	1,99	2,15	1,95	1,59	1,72	1,91	2,02	2,19	1,86	0,83	0,36	0,35	0,26	1,53	0,52	
25	2,1	2,1	2,2	2,3	2,4	2,1													
26																			
27	3,11	2,49	2,05	1,83	1,61		2,81	1,97	1,86	1,6	1,57	1,34	2,84	0,83	0,72	0,95	0,43	1,11	
28	2,18	2	2,07	2,2	2,11	2,19	2,04	2,01	1,99	2,21	2,11	1,64			1,17	2,37			
29	2,85	2,79	2,51	2,43	2,24	1,92	2,87	2,71	2,47	2,39	2,19	1,83	-4,2	-4,3	-3,9	-2,3	-1,3	-0,5	
30	2,06	1,94	2,2	2,24	2,2	1,94	2,05	1,92	2,09	2,14	2,09	1,82	-2,2	-0,7	-0,7	-0,4	-0,5	0	
31	2,2	2,1	2	1,9	2,1	1,8													
32	1,95	2	2,2	2,2	2	1,7													
33	2,6	2	2,2	2,4	2,3	1,9													
34	2,28	2,1	1,18	2,16	2,18	1,88	2,32	2,03	2,16	2,13	2,14	1,74	4,51	1,11	0,44	0,38	0,71	0,61	
35	1,73	1,8	2,05	2,13	2,13	1,88	1,55	1,76	2,06	2,2	2,17	1,83	1,85	0,99	1,04	1,03	1,15	0,34	
36	2,42	2,81	2,56	2,45	2,63	1,85	2,2	2,2	2	1,8	1,7	1,4	-4,8	-1,3	-0,6	1,1	0,9	1,9	
37	2,17	1,85	2	2,01	1,93		2,08	1,96	1,81	1,87	1,78		-2,5	-1,2	-0,1	0,4	1,1		
38	1,95	2	2,1	2,25	2,15	1,75	1,93	2,1	2,01	2,03	2,01	1,68	2,31	2,17	1,04	0,73	0,88	0,08	
39	1,83	1,97	2,06	2,31	2,15	1,71	1,96	2,15	2	2,17	2,2	1,67	1,34	1,34	1,58	1,18	1,92	1,59	
40	2,35	2,21	2	1,94	1,71	1,46	2,27	1,97	1,78	1,67	1,53		-4,6	-1,3	0,7	1,1	1,4		
41	1,9	1,8	1,7	1,6	1,55	1,45	1,89	1,78	1,8	1,78	1,59		-2,9	-0,5	0,6	1,3	1,8		
42	1,95	1,65	1,87	2,1	2,08	1,75	1,84	1,66	1,86	1,97	2,07	1,81	2,34	1,32	1,28	1,81	2,21	1,46	
43	2,92	2,85	3,03	2,99	2,96		2,53	2,54	2,67	2,63	2,62		-1,3	-1,1	0	1	0,6		
44	1,35	1,45	1,55	1,6	1,6	1,53	1,15	1,41	1,37	1,32	1,42	1,37	0,33	0,11	0,4	1,64	0,76	0,51	
45	1,38	1,53	1,7	1,84	1,64		1,47	1,47	1,65	1,77	1,62		-2,9	0,5	0,9	1,3	1		
46	2,1	2,39	1,81	1,81	1,67	1,47													
47	2,36	1,83	1,88	1,71	1,32	1,18	2,3	1,93	1,89	1,8	1,4	1,12	-0,8	-2,2	-1,1	0,3	1,5	3	
48	1,62	1,56	1,67	1,67	1,56	1,35	1,54	1,6	1,66	1,73	1,57	1,36	0,2	-0,5	-1,3	-0,5	0,5	0,6	
49	2,05	1,95	2,2	2,2	2,15	1,85			2,1	2,1					1,18	1,18			
50	1,92	1,79	1,89	1,99	1,95	1,78							-1,3	-0,8	-0,3	-1	-0,8	0	
51	1,63	1,68	1,83	1,93	1,9	1,71	1,53	1,72	1,82	1,8	1,75	1,62	-0,3	-1,9	-1,2	0	0,6	0,3	
52	2,8	2,6	2,6	2,6	2,4	2,1	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2	5,88	3,55	0,85	-1,5	1,07	-0,3	

53	2,25	2,17	2,08	2,13	2,09	1,88									0,05		0,74				
54	2,4	2,6	2,6	2,6	2,6	2,4	2,3	2,4	2,3	2,6	2,5	1,9	-	3,81	-	2,68	-	0,91	-1	-	0,31
55	2,8	2,5	2,2	2,2	2	1,6															
56	2,68	2,53	2,59	2,63	2,43	2,05	2,51	2,47	2,58	2,64	2,44	1,98	-	5,02	-4,4	-3,9	-2,6	-	2,42	-	1,38
57	2	2	2,4	2,3	2,3	1,9	2,3	2,2	2,3	2,3	2,1	1,6	-6,5	-3,6	-2,9	-2,8	-2,7	-1			
58	2,54	2,39	2,5	2,4	2,29	1,88	2,17	1,77	1,9	1,88	1,81	1,53	-2,5	0,2	1,3	1,9	1,3	2			
59	2,12	1,86	1,76	1,65	1,58	1,52	1,99	1,83	1,78	1,71	1,63	1,49	-	3,13	0,92	0,05	0,18	0,9	1,02		
60	2,78	2,74	2,31	2,31	2,23	1,9	2,55	2,62	2,19	2,2	2,13	1,79	-4,1	-4,5	-3,2	-2	-1,7	-0,7			
61	3,59	3,6	3,27	3,09	2,59	2,12	3,58	3,77	3,21	3,02	2,58	2,01	-5,8	-6,8	-4,4	-3,6	-2,8	-1,5			
62	2,45	2,35	2,4	2,4	2,35	2,15															
63	2,5	2,25	1,85	1,75	1,9	1,7															
64	2,92	2,36	2,01	1,94	1,76	1,57	2,6	2,1	1,8	1,8	1,78	1,61	-	2,72	1,87	0,75	0	0,48	1,11		
65	1,9	1,95	2,07	1,99	1,83	1,65	1,61	1,61	1,81	1,81	1,67	1,46	-	1,87	0,81	0,69	0,12	0,25	0,17		
66	2,85	1,91	1,37	1,16	1,04	0,93	2,38	1,65	1,3	1,15	1,02	0,93	-	2,32	0,57	2,9	3,55	4,32	4,14		
67	2,59	2,1	1,99	1,79	1,52	1,32	2,15	1,98	1,81	1,67	1,47	1,24	-	2,07	1,33	0,13	0,82	0,82	1,81		
68	3,3	3,3	3,6	3,15	2,5	1,8															
69	2,1	2,2	2,3	2,3	2,2	2										-0,8	-0,2				
70	2,52	2,23	2,12	2,05	1,94	1,74	2,19	1,93	1,82	1,83	1,78	1,57	-2	-1,6	-0,6	0,2	0,6	1,4			
71	2,5	2,27	2,2	2,03	1,76		2,26	2,35	2,1	1,94	1,55		-4,2	-2,6	-0,4	0,4	1,5				
72	2,2	2,09	2,04	1,76	1,61	1,37	2	1,97	1,87	1,57	1,34	1,12	-1,3	-0,8	0,2	1,3	1,9	2,6			
73	2,9	3,3	2,8	2,55	2,2	1,7	2,9	3	2,55	2,35	2,05	1,7	-2,7	-0,7	0	1,1	1,2	2,4			
74	2,3	2,37	2,45	2,75	2,55	2,3	2	2,3	2,4	2,6	2,4	1,9	-2	-2	-2	-2	-1,5	-1			
75	1,88	1,83	1,84	1,99	1,89	1,69	1,86	1,72	1,76	1,89	1,8	1,6	-	2,91	1,54	0,01	0,02	-0,5	0,16		
76	2,75	2,37	2,3	2,24	2	1,75															
77	2,3	2,2	2,2	2,3	2,2	1,9	2,1	2,2	2,2	2	2	1,7	-	2,23	1,66	0,88	0,47	0,47	0,47		
78	2,3	2,3	2,3	3,1	1,9	1,3															
79																					
80	3,11	2,58	2,41	2,47	2,37	2	2,86	2,49	2,25	2,28	2,19		-6	-3,2	-1,7	-0,8	-0,8				
81	2,49	2,1	1,98	1,87	1,69	1,29	2,47	2,18	1,98	1,88	1,61	1,19	-6,5	2,44	1,04	0,39	0,37	1,6			
82	2,4	2,3	2,3	2,2	2,1	1,8	2,4	2,4	2,3	2,2	2,2	1,7	-2,7	-2,2	-2,4	-1,1	-2,9	-0,7			
83	2,63	2,15	2,12	2,1	2	1,68	2,74	1,98	1,95	2,26	2,19	1,89									
84	3,1	2,5	1,9	1,75	1,7	1,55															
85	1,7	2	2	2	1,8	1,6	1,61	1,98	2,04	1,78	1,85	1,59	-	2,66	-2,1	1,29	0,28	0,79	0,16		
86																					
87	2,27	2,03	2,1	2,17	2,13	1,9	2,22	1,92	1,9	1,89	1,92	1,64	-4,7	-1,1	0,3	1	0,3	1,3			
88	2,29	2,24	2,23	2,17	2,12	1,93															
89	2,3	1,9	1,8	1,85	1,8	1,7															
90	2,5	2	1,9	2,1	2,1	1,7							-2,7	-0,1	0	0	0	0			
91	2,16	2,51	2,72	2,88	2,98	2,72	2,03	2,24	2,65	2,73	2,84	2,54	-2	-3,5	-2,9	-2,7	-2,6	-2,2			
92	2,37	2,22	2,21	2,11	1,94	1,49	2,23	2,01	1,97	1,84	1,56	1,18	-	4,48	1,58	0,01	0,95	0,74	2,92		
93	1,6	1,7	1,8	1,7	1,6	1,2							1,7	0,7	1,7	4,1	6,6	6,7			
94	2,92	2,89	2,3	2,09	1,96	1,69	2,6	2,64	2,18	2,05	1,88	1,47	-2,5	-2,7	-1,3	-1	-0,3	1,2			

Tabla 5. Parámetros sala vacía “Concert Houses” internacionales

	G						LF					
	125	250	500	1k	2k	4k	125	250	500	1k	2k	4k

1	2,71	2,77	3,73	3,22	1,43	-0,95	0,16	0,2	0,2	0,18	0,18	0,18
2												
3	1,43	2,61	3,7	4,27	3,7	2,34	0,15	0,25	0,28	0,25	0,24	0,25
4	4,83	3,39	2,49	2,78	2,58	-0,23	0,1	0,11	0,1	0,09	0,09	0,08
5												
6	1,86	4,12	3,46	2,08	2,93	0,82	0,2	0,14	0,13	0,15	0,18	0,13
7	1,8	2,4	3,8	3,95	3,8	2,3	0,27	0,19	0,23	0,22		
8												
9	2,9	4,6	6,5	6,5	2,7	2,4	0,1	0,14	0,1	0,12	0,15	0,12
10												
11												
12									0,13	0,11	0,12	
13												
14	1,9	0,3	2,4	2,7	2,5	1,6						
15	2,5	3	3,3	3,4	2,9	2,9						
16												
17	4	6	5,5	4,5	2	-1,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
18												
19	8,1	7,4	7,8	7,9	6,8	6,1	0,14	0,17	0,19	0,16	0,12	0,21
20												
21	-2,55	-2,08	-0,25	-0,22	-1,72	-3,9						
22	-0,41	-0,94	-0,37	0,53	-0,47	-3,22						
23	2,84	2,93	3,2	3,29	3,28	2,44	0,1	0,16	0,16	0,16	0,13	0,19
24	8,26	4,76	5,4	6,24	6,17	5,38	0,11	0,17	0,17	0,17	0,15	0,19
25												
26												
27	5,96	3,88	3,94	4,25	3,99	3,34	0,1	0,15	0,19	0,15	0,11	0,18
28												
29	8,3	7,1	6,7	7	5,9	5,4						
30	4,2	3,4	4,9	4,9	4,1	3,7						
31												
32												
33												
34	0,04	0,42	1,28	1,85	1,65	0,51	0,13	0,13	0,14	0,12	0,1	0,18
35	2,63	3,34	3,63	3,08	1,1	-0,4	0,08	0,12	0,13	0,12	0,09	0,16
36												
37	4,4	2,8	4,7	5,6	4,4		0,12	0,19	0,19	0,2		
38	2,34	1,92	3,92	3,26	2,37		0,15	0,19	0,18	0,15		
39	3,33	2,89	4,24	3,85	2,68	0,18	0,25	0,27	0,21	0,22		
40	1,3	1,6	2,4	0,8	1,7		0,2	0,28	0,24	0,19		
41	1,2	2	2,8	3,8	3,5		0,08	0,22	0,17	0,21		
42	2,14	1,64	3,84	3,29	2,71		0,18	0,24	0,19	0,12		
43	-1,7	-1,9	-0,5	-0,9	-0,8		0,13	0,16	0,14	0,13	0,14	
44	0,18	0,96	2,1	1,79	1,59		0,18	0,14	0,19	0,2		
45	1,3	1,4	3,2	3,8	3,2		0,33	0,25	0,25	0,24		
46												
47												
48												
49												
50	3,3	3,4	4,2	4,3	4,4	5,5						
51	7,5	7,6	9,8	10	10,8	11,3						
52	4,5	4,2	3,9	4,5	4,5	4,9						
53												

54	3,3	3,8	5,6	5,3	5,4	5,6	0,16	0,15	0,17	0,16	0,18	0,19
55												
56	5,8	5,9	6,2	6,5	5,8	4,9	0,16	0,17	0,2	0,17	0,14	0,23
57												
58							0,16	0,15	0,14	0,14		
59	5,78	6,24	4,87	4,54	3,13	1,59	0,11	0,07	0,09	0,11		
60	9,1	8,9	7,9	8,3	7,7	7,2						
61	9	8,9	8,9	8,2	8,3	7,9						
62												
63												
64	4,2	3,32	3,4	3,65	2,36	1,07	0,18	0,16	0,14	0,17	0,21	0,14
65	1,79	1,78	2,73	2,71	1,75	0,01	0,18	0,17	0,17	0,2	0,24	0,17
66	3,2	2,88	2,48	0,87	-0,64	-1,82	0,19	0,12	0,08	0,07	0,06	0,06
67	-0,41	0,84	2,29	1,69	-0,67	-2,6	0,09	0,07	0,07	0,09	0,13	0,08
68												
69			4,2	2								
70	-0,3	1,1	3,1	3,6	1,9	-1						
71	3	1,9	2,5	2,5	1,7		0,19	0,21	0,2	0,19	0,2	
72	0,4	1,9	2,5	2,3	2	0,3						
73	2	2,1	1	2	-1	1	0,14	0,11	0,1	0,12	0,2	0,15
74												
75	2,74	1,2	1,59	2,32	3,24	2,29	0,18	0,16	0,11	0,11	0,11	0,12
76												
77												
78												
79												
80	5	2,2	2,8	3,6	2,5		0,25	0,27	0,28	0,23	0,26	
81	-0,41	-0,94	-0,37	0,53	-0,47	-3,22	0,09	0,12	0,15	0,12	0,09	0,16
82	1,8	3,2	3,6	4,2	3,3	1,5	0,35	0,16	0,28	0,16		
83												
84												
85	2,02	4,18	4,53	3,88	1,86	1,36	1,61	1,98	2,04	1,78	1,85	1,59
86												
87	2	2,3	3	3,5	3,6	2,9	0,11	0,13	0,12	0,12	0,14	0,15
88												
89												
90												
91	4	5,4	6	6,3	6,9	6,3						
92	2,84	2,93	3,2	3,29	3,28	2,44	0,1	0,16	0,16	0,16	0,13	0,19
93							0,1	0,1	0,16	0,13	0,12	0,11
94	6,6	4,6	4,6	3	5,6	1						

Tabla 6. Parámetros sala ocupada “Concert Houses” internacionales

	T30					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	2,2	2,2	2	2	1,86	1,68

2	1,7	1,5	1,45	1,4	1,3	1,3
3	2,1	1,8	1,9	1,9	1,6	1,2
4	1,7	1,65	1,35	1,3	1,25	1,1
5	1,44	1,29	1,21	1,16	1,1	0,98
6	1,7	1,6	1,5	1,45	1,35	1,3
7	2,23	1,89	1,62	1,57	1,44	1,16
8	3,53	3,21	2,85	2,92	2,46	2,22
9	2,85	2,63	2,09	1,69	1,5	1,42
10	2,24	2,16	1,82	1,5	1,35	1,28
11	2,1	1,95	1,9	1,8	1,7	1,5
12	1,6	1,76	1,78	1,74	1,74	1,8
13	2,3	1,8	1,8	1,8	1,6	1,6
14	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,5
15		1,9	1,9	1,8	1,7	1,4
16	2	1,9	1,6	1,4	1,2	1,2
17	1,7	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3
18	2,1	2,2	2,1	2,3	2,2	2
19	2,14	2,15	2,01	1,94	1,71	1,55
20	1,9	1,75	1,5	1,35	1,25	1,1
21	1,3	1,45	1,45	1,4	1,35	1,2
22	2,2	1,85	1,73	1,6	1,5	1,2
23	1,97	1,86	1,83	1,78	1,6	1,38
24	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,2
25	1,5	1,35	1,3	1,3	1,35	1,3
26	1,2	1,25	1,1	1	0,9	0,9
27	2,1	1,6	1,55	1,4	1,3	1,2
28	1,7	1,55	1,74	1,89	1,72	
29	2,53	2,34	2,05	1,87	1,74	1,59
30	2,2	1,9	1,9	2	1,8	1,5
31	2	1,65	1,7	1,7	1,75	1,65
32	1,95	2	2,2	2,05	1,9	1,7
33	2	1,75	1,85	1,85	1,8	1,65
34	1,93	1,94	1,87	1,84	1,92	1,94
35	1,6	1,6	1,6	1,65	1,6	1,4
36	2,05	1,95	1,8	1,9	1,85	1,65
37	1,85	1,7	1,7	1,7	1,6	1,35
38	1,88	1,97	1,96	1,96	1,8	1,56
39	1,73	1,77	1,4	1,13	1,02	0,87
40	2,04	1,88	1,76	1,74	1,67	1,44
41	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,25
42	1,75	1,88	1,65	1,7	1,65	1,48
43	2,8	2,64	2,42	2,4	2,27	1,81
44	1,35	1,35	1,36	1,51	1,46	1,32
45	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,5
46	2,1	1,9	1,8	1,6	1,45	1,3
47	2,2	2,1	1,75	1,75	1,5	1,4
48	1,7	1,5	1,5	1,5	1,3	
49			1,8	1,8		
50	1,98	1,66	1,54	1,49	1,39	1,3
51	1,63	1,57	1,65	1,8	1,74	1,58
52	2,6	2,3	2,1	2,1	2	1,7
53	1,9	2,01	1,88	1,92	1,91	1,69
54	2,2	2,1	2	2	1,9	1,75

55	2,2	2,3	2	1,9	1,8	1,7
56	2,2	2,15	2,05	1,95	1,8	1,55
57	1,9	2	2	2,1	2	1,85
58	2,15	2,11	2,21	1,98	1,86	1,59
59	1,8	1,7	1,65	1,6	1,5	1,4
60	2,2	2	1,8	1,75	1,6	1,5
61	2,5	2,4	2,15	1,95	1,75	1,62
62	1,95	1,97	2,05	2	1,95	1,8
63	1,9	1,4	1,3	1,2	1	0,9
64						
65	1,8	1,8	1,9	1,8	1,6	1,4
66						
67						
68						
69	2,4	2	1,9	1,8	1,7	1,5
70	2,3	2,05	1,97	1,86	1,75	1,52
71	2,12	2,26	2	1,75	1,65	
72	2,1	1,9	1,75	1,5	1,4	1,2
73	2,7	2,7	2,5	2,3	2,05	1,85
74	2,1	2,02	1,95	1,95	1,85	1,65
75						
76	2,5	2,2	2,05	1,9	1,7	1,5
77	2,2	2	2	1,9	1,8	1,65
78						
79	2,3	1,9	1,6	1,6	1,4	1,3
80	2,6	2,2	2	2	1,9	1,65
81	2,2	1,85	1,73	1,6	1,5	1,2
82						
83	2,05	2,01	1,7	1,6	1,45	1,23
84	2,3	1,85	1,75	1,55	1,45	1,3
85	1,7	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3
86	1,9	1,9	2	2,1	2,2	1,8
87	2	1,95	1,8	1,8	1,75	1,4
88	2,15	1,9	1,8	1,75	1,65	1,55
89	2,2	1,8	1,65	1,65	1,55	1,5
90	1,77	1,64	1,63	1,72	1,75	1,52
91	2,07	2,03	1,99	1,93	1,84	1,66
92	1,97	1,86	1,83	1,78	1,6	1,38
93	1,65	1,65	1,65	1,65	1,6	1,2
94	2,31	2,14	1,96	1,79	1,62	1,36

	EDT						C80					
	125	250	500	1k	2k	4k	125	250	500	1k	2k	4k
7	2,27	3,43	2,25	2,12	1,86	1,84						
8		3,16	2,31	2,07	1,96	1,81		-3,9	-2,6	0,3	-2,1	-1,7
17	1,8	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3						
18	2,05	2,13	1,98	2,16	2,12	2,02						
28	1,4	1,55	1,48	1,88	1,65							
51	1,51	1,63	1,64	1,76	1,65	1,5	-1,7	-1,1	-0,8	0,1	0,6	1,1
70	2,14	1,83	1,8	1,77	1,71	1,54	-1,9	-0,4	-0,1	0,3	1,1	2,4
73	2,75	2,5	2,3	1,9	1,65	1,4	-2,7	0	1	2,2	2,4	4
80	2,52	2,13	2,04	2,02	1,96	1,69						
83	1,55	1,69	1,5	1,61	1,34	1,09						

86	0,8	0,8	0,8	1,4	1,5	1,9						
91	1,76	1,77	1,84	1,81	1,73	1,51	-2,5	-1,6	-0,8	0,2	0,7	1,8
94	2,2	1,98	1,94	1,97	1,72	1,44	-2	-0,9	-0,6	-0,3	-0,7	1,1

Tabla 7. Parámetros sala ocupada “Concert Houses” internacionales

	G						LF					
	125	250	500	1k	2k	4k	125	250	500	1k	2k	4k
17							0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
51	4,3	4,4	6	7,2	8,7	11,4						
70	-1,2	0,4	2,2	3,4	1,1	-1,6						
73	1,7	1,8	0	1	-2	0,4	0,27	0,14	0,11	0,11	0,18	0,15
91	3,5	4,2	4,7	4,5	4,6	3,9						
94	4,8	3,7	3,9	2,2	5,4	1,9						

Tabla 8. Listado “Concert Houses” nacionales

1	Gran Teatro - Gran Teatro del Parque de Atracciones - Madrid
2	Madrid, Auditorio Nacional de Música
3	Sala Sinfónica - L'Auditori - Barcelona
4	Auditorio - Palacio Euskalduna de Congresos y de la Música - Bilbao
5	Palau de la Música Catalana - Palau de la Música Catalana - Barcelona
6	Sala Principal - Auditorio-Palacio de Congresos Príncipe Felipe - Oviedo
7	Sala García Lorca - Palacio de Exposiciones y Congresos - Granada
8	Sala Mozart - Auditorio-Palacio de Congresos - Zaragoza
9	Auditorio - Palacio de Congresos - Madrid
10	Sala Narciso Yepes - Auditorio y Centro de Congresos Víctor Villegas - Murcia
11	Auditorio - Centro Kursaal - San Sebastián/Donostia
12	Valencia, Palau de la Música
13	Sala Magna - Auditorium de Palma de Mallorca - Palma de Mallorca
14	Sala Sinfónica - Auditorio Alfredo Kraus - Las Palmas de Gran Canaria
15	Sala Argenta - Palacio de Festivales de Cantabria - Santander
16	Sala Santiago - Palacio de Congresos y Exposiciones de Galicia - Santiago de Compostela
17	Sala Principal - Baluarte. Palacio de Congresos y Audit. de Navarra - Pamplona
18	Teatre La Passió - Olesa de Montserrat
19	Auditorio I, Palacio de Congresos - Valencia
20	Palacio de Congresos Expo Aragón - Zaragoza
21	Centro de las artes escénicas y de la música - Salamanca
22	Teatro del I,E,S, Universidad Laboral - Gijón
23	Auditorio Manuel de Falla - Granada
24	Teatro Auditorio - Roquetas de Mar
25	Sala Principal, Auditorio Ciudad de León - León
26	Auditorio Municipal - Puertollano
27	Teatro Avenida - Santo Domingo de la Calzada
28	Teatre Municipal La Faràndula- Sabadell

29	Sala A, Teatro Auditorio - San Lorenzo del Escorial
30	Auditorio de la Universidad Carlos III - Leganés
31	Sala Ángel Brage - Santiago de Compostela
32	Teatro Gran Vía - Madrid
33	Teatro Apolo - Barcelona
34	Auditorio Pilar Bardem - Rivas Vaciamadrid
35	Sala Buero Vallejo - Guadalajara
36	Sala Teobaldo Power - La Orotava

Tabla 9. Detalles técnicos “Concert Houses” nacionales

	Año const.	Aforo (N)	V (m³)	S _A (m²)	S ₀ (m²)	D (máx)	H (m)	W (m)	L (m)
1	1969	2533	13811	1591	487	39,9	11,6	82,4	46,0
2	1988	2293	20000	1705	278	40,0	18,8	28,0	39,0
3	1999	2203	20538	1326	303	41,9	20,5	32,9	55,8
4	1999	2165	26333	1851	242	47,3	25,3	34,0	57,9
5	1908	2138	11018	1478	191	43,5	17,6	24,1	53,3
6	1999	1504	15345	1292	329	39,2	19,6	28,8	47,8
7	1992	1999	11218	1284	151	33,0	11,6	54,4	38,9
8	1994	1992	23311	1703	209	39,3	20,4	46,2	59,2
9	1970	1909	14623	1264	158	46,2	16,8	54,6	44,6
10	1995	1838	12574	1228	212	33,0	18,2	52,3	42,7
11	1999	1806	14148	830	258	40,3	18,4	27,8	51,0
12	1987	1790	15400	812	178	20,5	16,5	20,5	18,7
13	1969	1739	10750	959	223	36,5	21,2	25,1	42,2
14	1997	1646	17322	1135	238	42,7	19,1	35,3	55,4
15	1991	1642	31003	1539	285	46,5	29,9	41,7	61,8
16	1995	1580	22424	2216	369	50,4	13,2	36,7	72,6
17	2003	1568	15887	1095	151	47,4	19,1	29,8	53,1
18	1987	1499	13293	1185	396	34,7	13,3	56,6	42,3
19	1998	1481	10051	999	126	32,2	14,0	33,4	37,3
20	2008	1443	10283	1065	138	44,7	12,5	31,6	49,7
21	2002	1434	11394	808	235	34,7	15,8	26,4	43,0
22	1956	1331	7801	999	119	29,3	18,1	31,1	32,6
23	1978	1313	11730	932	178	27,2	19,3	27,0	52,5
24	2004	1305	10607	989	231	32,4	16,4	36,3	41,5
25	2002	1150	11901	946	198	32,3	14,6	25,1	55,3
26	1995	1118	9232	801	175	31,8	19,6	19,9	38,8
27	1951	1103	3037	487	62	26,5	9,3	22,8	28,4
28	1955	1069	8462	724	172	37,0	17,0	26,5	43,0
29	2000	1065	6841	415	186	20,4	16,1	27,2	36,3
30	2001	1050	11653	871	138	38,5	21,0	31,9	44,2
31	1989	1030	8940	599	299	27,4	12,0	26,4	42,1
32	1944	1020	4652	543	98	26,5	11,7	18,4	29,7
33	1904	1016	4034	734	121	23,4	9,9	24,0	28,5
34	2005	1008	7377	774	114	26,4	15,5	51,0	27,8
35	2002	1003	9377	760	222	35,3	13,3	28,0	43,8
36	1953	1002	5013	640	129	30,5	14,2	21,2	34,6

Tabla 10. Detalles técnicos "Concert Houses" nacionales

	S _T	V/N	V/SA	V/S _T	SA/N	H/W	L/W
	S _{A+So}	m ³ /seat	(m)	(m)	(m ² /seat)		
1	2078	5,45	8,68	6,64	0,63	0,14	0,56
2	1983	8,72	11,73	10,09	0,74	0,67	1,39
3	1629	9,32	15,49	12,61	0,60	0,62	1,70
4	2093	12,16	14,23	12,58	0,85	0,75	1,70
5	1670	5,15	7,45	6,60	0,69	0,73	2,21
6	1620	10,20	11,88	9,47	0,86	0,68	1,66
7	1435	5,61	8,73	7,82	0,64	0,21	0,71
8	1913	11,70	13,69	12,19	0,86	0,44	1,28
9	1422	7,66	11,57	10,28	0,66	0,31	0,82
10	1440	6,84	10,24	8,73	0,67	0,35	0,82
11	1088	7,83	17,04	13,00	0,46	0,66	1,84
12	990	8,60	18,97	15,56	0,45	0,80	0,91
13	1182	6,18	11,21	9,09	0,55	0,84	1,68
14	1374	10,52	15,26	12,61	0,69	0,54	1,57
15	1824	18,88	20,15	17,00	0,94	0,72	1,48
16	2586	14,19	10,12	8,67	1,40	0,36	1,98
17	1246	10,13	14,51	12,75	0,70	0,64	1,78
18	1581	8,87	11,22	8,41	0,79	0,23	0,75
19	1126	6,79	10,06	8,93	0,67	0,42	1,12
20	1203	7,13	9,65	8,55	0,74	0,40	1,57
21	1043	7,95	14,10	10,92	0,56	0,60	1,63
22	1118	5,86	7,81	6,98	0,75	0,58	1,05
23	1110	8,93	12,59	10,57	0,71	0,71	1,94
24	1220	8,13	10,72	8,69	0,76	0,45	1,14
25	1145	10,35	12,57	10,40	0,82	0,58	2,20
26	976	8,26	11,53	9,46	0,72	0,99	1,95
27	549	2,75	6,24	5,53	0,44	0,41	1,25
28	896	7,92	11,69	9,45	0,68	0,64	1,62
29	601	6,42	16,47	11,38	0,39	0,59	1,33
30	1009	11,10	13,37	11,55	0,83	0,66	1,39
31	898	8,68	14,92	9,95	0,58	0,45	1,59
32	642	4,56	8,56	7,25	0,53	0,64	1,61
33	855	3,97	5,49	4,72	0,72	0,41	1,19
34	888	7,32	9,54	8,31	0,77	0,30	0,54
35	982	9,35	12,34	9,55	0,76	0,48	1,57
36	769	5,00	7,84	6,52	0,64	0,67	1,63

Tabla 11. Parámetros sala vacía "Concert Houses" nacionales

	T30						EDT					
	125	250	500	1k	2k	4k	125	250	500	1k	2k	4k
1												
2	2,39	2,13	2,07	2,13	1,93	1,51	2,18	2,19	2,03	2,08	1,85	1,35
3												
4	1,83	1,73	1,68	1,7	1,69	1,58						
5												

6	2,2	2,1	1,95	1,9	1,85	1,8						
7												
8	2,34	2,33	2,77	2,93	2,54	1,92	2,33	2,25	2,60	2,75	2,37	1,73
9												
10												
11	1,95	2,05	1,93	1,93	2,00	1,91	1,51	1,67	1,75	1,76	1,90	1,67
12	3,05	3,6	3,35	3	2,6	2,2	2,73	3,32	2,97	2,95	2,6	2,19
13												
14	2,8	2,7	2,4	2,1	2,05	1,95						
15												
16												
17	1,95	1,70	1,77	2,10	2,26	2,02	1,65	1,49	1,61	1,98	2,18	1,93
18												
19												
20												
21												
22												
23	2,51	2,54	2,4	2,25	2,1	1,75	2,41	2,55	2,36	2,18	1,87	1,54
24												
25	2,01	1,74	1,66	1,66	1,49	1,35						
26												
27												
28												
29												
30												
31												
32												
33												
34												
35	2	1,9	1,72	1,59	1,45	1,35						
36												

Tabla 12. Parámetros sala vacía "Concert Houses" nacionales

	C80						LF					
	125	250	500	1k	2k	4k	125	250	500	1k	2k	4k
1												
2	-3,03	-1,97	-1,21	-0,06	0,06	2,3	0,17	0,28	0,34	0,28	0,24	0,27
3												
4												
5												
6												
7												
8	-3,66	-2,13	-0,95	-0,78	-0,56	1,36						
9												
10												
11	-0,37	-0,64	0,48	0,14	-0,86	-0,32						
12	-4,98	-7,55	-5,45	-3,51	-2,12	0,98	0,22	0,27	0,36	0,33	0,29	0,25
13												
14												
15												

16												
17	-1,34	-0,72	-0,99	-2,33	-2,30	-1,76						
18												
19												
20												
21												
22												
23	-2,2	-2,6	-0,6	0,1	0,4	1,2						

Tabla 13. Tiempos de reverberación sala ocupada “Concert Houses” nacionales

	T30					
	125	250	500	1k	2k	4k
2	2,1	2,02	1,85	1,62	1,5	1,46
12	2,1	2,3	2,1	2	2	2

Tabla 14. Listado “Opera Houses” internacionales

1	Amsterdam Music Theater
2	Athens, Megaron
3	Bayeruth, Festpielhaus
4	Berlin, Deutscheoper
5	Berlin, Komischeoper
6	Budapest, Magyar Allami Operahaz
7	Buenos Aires, Teatro Colón
8	Chicago, Civic Opera House
9	Dresden, Semperoper
10	Essen, Opera House
11	Fort Worth, Bass Performance Hall
12	Glyndebourne, Opera House
13	Hamburg, Staatsoper
14	London, Royal Opera House
15	Milan, Teatro Alla Scala
16	Naples, Teatro di San Carlo
17	New York, Metropolitan Opera House
18	Paris, Opera Bastille
19	Paris, Opera Garnier
20	Philadelphia, Academy of Music

21	Prague, Staatsoper
22	Rochester, NY, Eastman Theatre
23	Salzburg, Festspielhaus
24	San Francisco, War Memorial Opera House
25	Seattle, Opera House
26	Shanghai, Grand Theatre
27	Tokyo, Bunka Kaikan (Ueno)
28	Tokyo, New National Theatre Opera House
29	Tokyo, Nissei theater
30	Tokyo, NHK Hall
31	Vienna, Staatsoper
32	Washington, DC, JFK Center, Opera House

Tabla 15. Detalles técnicos “Opera Houses” internacionales

	Año const.	Aforo (N)	V (m³)	S _A (m²)	S ₀ (m²)	D (máx)	H (m)	W (m)	L (m)
1		1689	10000						
2	1971	1700	15000	1090	115,0	34,3	17,1	35,7	33,8
3	1876	1800	10308	845	34,5	33,8	12,8	33,2	32,3
4		1900	10800						
5		1222	7000						
6	1884	1277	8900	644	58,0	31,4	18,6	15,2	25,0
7	1908	2487	21524	1765	230,0	43,0	26,5	24,4	34,4
8		3563	23000						
9	1841	1284	12960	866	45,6	24,4	19,0	26,9	19,8
10		1125	8800						
11	1998	1960	18470	1150	74,0	40,0	25,0	21,6	28,6
12		1243	7790	701	109,0				
13		1679	11000						
14	1858	2157	12250	1360	62,2	39,6	18,6	24,4	29,9
15	1778	2289	11252	1300	125,4	32,0	19,2	20,1	30,2
16	1737	1414	13700	950	108,0	36,3	24,4	22,2	34,0
17	1966	3816	24724	2262	132,0	56,1	25,0	33,5	39,6
18	1989	2700	21000	1522	186,0	39,0	21,3	16,2	31,1
19	1875	2131	10000	1126	78,0	32,3	20,7	18,9	27,7
20		2827	15100	1460	59,0	36,0	19,5	17,7	31,1
21		1554	8000						
22	1923	3347	23970	1907	71,5	43,3	20,4	36,6	35,7
23	1960	2158	15500	1375	195,0	29,0	14,3	32,9	29,6
24	1932	3252	20900	1973	70,6	37,2	22,2	31,7	36,6

25		3099	22000						
26	1998	1895	15000	901	133,0	33,2	20,1	35,4	27,7
27	1961	2327	17300	1301	241,0	36,0	17,4	26,5	31,7
28	1997	1810	14500	1153	102,0	34,3	20,5	26,0	30,7
29		1340	7500						
30	1973	3677	25200	1821	193,0	47,6	14,9	33,2	36,6
31	1869	1709	10665	1194	106,8	33,8	18,9	18,3	29,9
32	1971	2142	13027	1289	109,0	35,1	17,1	31,7	32,0

Tabla 16 **1** Detalles técnicos “Opera Houses” internacionales

Eliminado: 7

	S _T	V/N	V/S _A	V/S _T	S _A /N	H/W	L/W
	S _A +S _o	m³/seat	(m)	(m)	(m²/seat)		
1							
2							
3	880	5,73	12,20	11,72	0,47	0,39	0,97
4							
5							
6							
7	1995	8,65	12,19	10,79	0,71	1,09	1,41
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14	1422	5,68	9,01	8,61	0,63	0,76	1,23
15	1425	4,92	8,66	7,89	0,57	0,96	1,50
16							
17	2394	6,48	10,93	10,33	0,59	0,75	1,18
18	1708	7,78	13,80	12,30	0,56	1,31	1,92
19	1204	4,69	8,88	8,31	0,53	1,10	1,47
20	1519	5,34	10,34	9,94	0,52	1,10	1,76
21		5,15					
22	1979	7,16	12,57	12,12	0,57	0,56	0,98
23	1570	7,18	11,27	9,87	0,64	0,43	0,90
24	2044	6,43	10,59	10,23	0,61	0,70	1,15
25		7,10					
26							
27	1542	7,43	13,30	11,22	0,56	0,66	1,20
28							
29							
30	2014	6,85	13,84	12,51	0,50	0,45	1,10
31	1301	6,24	8,93	8,20	0,70	1,03	1,63
32	1398	6,08	10,11	9,32	0,60	0,54	1,01

Tabla 2 **2** Parámetros sala vacía “Opera Houses” internacionales

Eliminado: 8

	T30						EDT						C80					
	125	250	500	1k	2k	4k	125	250	500	1k	2k	4k	125	250	500	1k	2k	4k
1																		
2																		
	2,10	2,20	2,30	2,30	2,20	2,00									-0,80	-0,20		

3	1,75	1,70	1,60	1,50	1,40	1,30												
4																		
5																		
6	1,90	1,82	1,60	1,50	1,36	1,10												
7	2,20	2,09	2,04	1,76	1,61	1,37	2,00	1,97	1,87	1,57	1,34	1,12	-1,30	-0,80	0,20	1,30	1,90	2,60
8																		
9	2,08	2,00	1,89	1,90	1,82	1,47	2,17	2,06	1,70	1,66	1,57	1,20			-2,10	-1,90		
10																		
11																		
12	2,10	1,77	1,55	1,52	1,50		1,96	1,41	1,27	1,19	1,26		0,10	2,30	4,30	4,70	4,00	
13																		
14	1,30	1,26	1,19	1,23	1,16	1,05	1,33	1,19	1,03	1,05	1,06		0,90	4,10	4,80	4,70	4,00	
15	1,81	1,57	1,40	1,31	1,22	1,11	1,47	1,22	1,20	1,17	1,15	1,05	1,00	1,40	2,00	3,80	4,70	4,40
16	2,25	1,65	1,35	1,20	1,20	1,00	1,50	1,40	1,20	1,10	1,10	1,05	-2,30	-2,30	-0,25	-0,10	0,00	0,10
17	2,30	2,10	2,30	2,25	2,05	1,50	2,10	2,10	2,25	2,25	2,00	1,55						
18	1,55	1,55	1,70	1,70	1,65	1,40	1,56	1,59	1,52	1,52	1,37	1,20	-0,85	0,63	1,25	2,24	2,59	2,29
19	1,84	1,40	1,26	1,18	1,14	1,02	1,43	1,30	1,20	1,12	1,12	1,04	1,40	1,50	3,60	5,10	5,00	5,50
20	1,40	1,40	1,40	1,30	1,30	1,10	1,30	1,20	1,20	1,20	1,20	1,10	-1,20	-0,20	2,00	0,30	2,30	2,10
21																		
22	3,10	2,50	1,90	1,75	1,70	1,55												
23	1,69	1,93	1,91	1,82	1,74	1,50	1,61	1,98	2,04	1,72	1,85	1,59	-2,66	-2,10	-1,29	0,28	-0,79	0,16
24																		
25																		
26	2,40	1,60	1,40	1,35	1,35	1,30												
27	1,92	1,79	1,89	1,99	1,95	1,78							-1,30	-0,80	-0,30	-1,00	-0,80	0,00
28	1,65	1,66	1,73	1,85	1,83	1,60	1,55	1,59	1,65	1,75	1,73	1,48	-0,10	0,90	1,70	3,30	3,80	3,70
29																		
30	2,50	2,00	1,90	2,10	2,10	1,70							-2,70	-0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
31	1,84	1,61	1,55	1,54	1,44	1,28	1,56	1,43	1,38	1,47	1,34	1,07	-0,20	1,50	2,50	2,80	2,70	4,30
32	2,20	2,00	1,80	1,60	1,50	1,40												

Tabla 17. Parámetros sala vacía “Opera Houses” internacionales

	G						LF					
	125	250	500	1k	2k	4k	125	250	500	1k	2k	4k
1												
2			4,20	2,00								
3												
4												
5												
6												
7	0,40	1,90	2,50	2,30	2,00	0,30						
8												
9			2,00	2,20								

10													
11													
12	0,00	-0,20	1,90	2,90	1,50		0,23	0,16	0,17	0,14	0,17		
13													
14	0,90	-3,10	0,40	0,90	-1,30		0,36	0,19	0,21	0,20			
15	-1,30	-1,80	-1,70	-1,10	-1,50	-3,00							
16	-1,30	-2,80	-0,90	-0,85	-0,75	-1,80							
17													
18	-30,00	-30,00	-28,00	-26,50	-27,00	-28,00							
19	-2,40	0,20	1,10	0,30	-1,50	-3,40							
20	-1,87	-0,12	1,77	1,13	0,53	-2,35	0,19	0,16	0,14	0,17	0,19	0,12	
21													
22													
23	2,02	4,18	4,53	3,88	1,86	1,36	0,18	0,16	0,15	0,16			
24													
25													
26													
27	3,30	3,40	4,20	4,30	4,40	5,50							
28	-0,40	0,20	1,20	2,20	2,40	-0,30							
29													
30													
31	-1,40	0,70	3,10	2,50	1,30	-1,80							
32													

Tabla 3. Parámetros sala ocupada "Ópera Houses" internacionales

Eliminado: 18

	T30						EDT					
	125	250	500	1k	2k	4k	125	250	500	1k	2k	4k
1												
2	2,40	2,00	1,90	1,80	1,70	1,50						
3												
4												
5												
6	2,10	1,90	1,80	1,60	1,45	1,30						
7	2,10	1,90	1,75	1,50	1,40	1,20						
8												
9	2,00	1,90	1,75	1,60	1,50	1,30						
10												
11												
12	1,65	1,42	1,26	1,23	1,21							
13												
14	1,20	1,15	1,10	1,10	1,00	1,00						
15	1,50	1,40	1,25	1,15	1,10	1,00						
16	2,15	1,55	1,25	1,05	1,00	0,90						
17	2,25	2,00	1,75	1,80	1,65	1,15	2,10	2,10	1,70	1,80	1,70	1,30
18	1,45	1,45	1,50	1,50	1,45	1,30	1,60	1,40	1,30	1,35	1,20	1,00
19	1,80	1,35	1,10	1,10	0,09	0,09						
20	1,40	1,30	1,20	1,20	1,10	1,00						
21												
22	2,30	1,85	1,75	1,55	1,45	1,30						
23	1,70	1,60	1,50	1,50	1,40	1,30						
24	1,59	1,58	1,53	1,46	1,39	1,26						

25													
26	2,20	1,80	1,65	1,65	1,55	1,50							
27	1,98	1,66	1,54	1,49	1,39	1,30							
28	1,62	1,59	1,49	1,49	1,42	1,32	1,53	1,50	1,36	1,28	1,22	1,10	
29													
30	1,77	1,64	1,63	1,72	1,75	1,52							
31	1,40	1,45	1,40	1,20	1,20	1,15							
32	2,00	1,90	1,60	1,40	1,20	1,20							

Tabla 19. Parámetros sala vacía “Opera Houses” internacionales

	C80						G					
	125	250	500	1k	2k	4k	125	250	500	1k	2k	4k
18							-32	-31	-29	-27,5	-27,5	-29,5
28	0,9	1,7	3,3	3,8	3,7	4,3	-0,8	-0,4	-0,5	0,4	0,1	-1,6

Tabla 20. Listado “Opera Houses” nacionales.

1	Gran Teatre del Liceu - Gran Teatre del Liceu - Barcelona
2	Teatro Real - Teatro Real - Madrid
3	Teatre Tívoli - Teatre Tívoli - Barcelona
4	Teatro Arriaga - Teatro Arriaga - Bilbao
5	Teatro Coliseum - Madrid
6	Teatro Campoamor - Oviedo
7	Teatro Lope de Vega - Madrid
8	Teatro Principal - Requena
9	Sala Capitol - Madrid
10	Teatro Nuevo Apolo - Madrid
11	Teatro de la Zarzuela - Madrid
12	Teatre Victòria - Barcelona
13	Cine-Teatro Filarmónica - Oviedo
14	Gran Teatro Falla - Cádiz
15	Teatro Romea - Murcia
16	Teatro Jovellanos - Gijón
17	Teatro Circo - Orihuela
18	Teatro Villamarta - Jerez de la Frontera
19	Teatro Olimpia - Huesca
20	Teatro Calderón de la Barca - Valladolid
21	Teatro Principal - Zaragoza
22	Teatro Gayarre - Pamplona
23	Teatro Miguel de Cervantes - Málaga
24	Teatre Municipal El Jardí - Figueres
25	Teatro Olympia - Valencia
26	Teatro Principal Antzokia - Vitoria
27	Teatro Cine Montecarlo- Buñol

Tabla 21. Detalles técnicos “Opera Houses” nacionales

	Año const.	Aforo (N)	V (m³)	S _A (m²)	S ₀ (m²)	D (máx)	H (m)	W (m)	L (m)
1	1847	2321	10916,13	1484,575	197,5	29,0	18,8	24,0	37,2
2	1850	1742	13842,94	1474,2	231,4	35,6	26,4	30,3	45,1
3	1919	1640	7654,95	1061,5	113,8	36,5	16,6	23,3	44,8
4	1980	1502	6646,24	1006,2	124,8	25,4	12,8	24,6	32,2
5	1932	1451	12705,1	1270,1	114,1	35,3	25,0	29,3	37,7
6	1924	1440	8949,14	1322,5	173,9	32,2	20,6	24,1	37,5
7	2002	1434	10500,94	965,2	149,0	34,3	18,1	26,6	38,0
8	1945	1432	6825,54	1027,7	170,7	40,0	10,8	22,5	44,4
9	1933	1373	10202,58	962	67,4	32,9	18,7	30,9	32,9
10	1932	1275	8471,52	763,9	112,1	39,8	24,9	16,5	45,3
11	1856	1242	5738,87	696,7	114,7	26,1	14,2	21,2	32,7
12	1916	1224	5587,97	698,8	60,6	31,7	13,1	22,3	35,4
13	1944	1221	6663,41	868,5	91,3	28,0	17,4	23,0	29,5
14	1910	1214	9990,17	985,6	242,2	26,3	16,1	28,3	38,6
15	1862	1204	4688,48	784	139,2	22,8	14,5	17,6	32,6
16	1899	1202	7231,36	808	145,9	30,3	19,5	19,4	36,0
17	1908	1200	9206,24	908,8	115,2	28,0	18,1	35,8	39,3
18	1928	1200	7522,42	605,7	102,8	24,9	14,6	22,8	29,0
19	1911	1159	4024,87	834,6	45,4	23,0	11,9	18,2	27,7
20	1864	1115	8123,47	1204,3	138,5	26,9	17,2	23,0	33,9
21	1799	1104	6942,25	776,6	103,5	29,7	19,7	18,0	34,7
22	1932	1063	4888,18	730	66,8	23,1	15,4	21,7	25,9
23	1870	1058	7801,27	902,6	131,8	35,5	20,3	21,2	41,4
24	1917	1057	7738,21	955	137,3	35,9	13,4	19,5	43,1
25	1915	1055	6885,3	909,1	97,5	38,2	11,2	24,3	47,2
26		1042	5927,45	768,5	111,0	23,5	16,0	19,0	26,2
27	1953	1032	5692,18	635,1	149,1	31,0	11,1	17,3	41,7

Tabla 22. Detalles técnicos “Opera Houses” nacionales

	S _T	V/N	V/S _A	V/S _T	S _A /N	H/W	L/W
	S _A +S ₀	m³/seat	(m)	(m)	(m²/seat)		
1	1682	4,70	7,35	6,49	0,64	0,78	1,55
2	1706	7,95	9,39	8,12	0,85	0,87	1,49
3	1175	4,67	7,21	6,51	0,65	0,71	1,93
4	1131	4,42	6,61	5,88	0,67	0,52	1,31
5	1384	8,76	10,00	9,18	0,88	0,85	1,29
6	1496	6,21	6,77	5,98	0,92	0,86	1,56
7	1114	7,32	10,88	9,42	0,67	0,68	1,43
8	1198	4,77	6,64	5,70	0,72	0,48	1,97
9	1029	7,43	10,61	9,91	0,70	0,61	1,06
10	876	6,64	11,09	9,67	0,60	1,51	2,75
11	811	4,62	8,24	7,07	0,56	0,67	1,54
12	759	4,57	8,00	7,36	0,57	0,59	1,59
13	960	5,46	7,67	6,94	0,71	0,76	1,28

14	1228	8,23	10,14	8,14	0,81	0,57	1,37
15	923	3,89	5,98	5,08	0,65	0,82	1,85
16	954	6,02	8,95	7,58	0,67	1,00	1,85
17	1024	7,67	10,13	8,99	0,76	0,51	1,10
18	709	6,27	12,42	10,62	0,50	0,64	1,27
19	880	3,47	4,82	4,57	0,72	0,65	1,52
20	1343	7,29	6,75	6,05	1,08	0,75	1,47
21	880	6,29	8,94	7,89	0,70	1,10	1,93
22	797	4,60	6,70	6,13	0,69	0,71	1,19
23	1034	7,37	8,64	7,54	0,85	0,96	1,96
24	1092	7,32	8,10	7,08	0,90	0,69	2,21
25	1007	6,53	7,57	6,84	0,86	0,46	1,95
26	880	5,69	7,71	6,74	0,74	0,84	1,38
27	784	5,52	8,96	7,26	0,62	0,64	2,41

Tabla 23. Parámetros sala vacía “Opera Houses” nacionales

		C80											
		125	250	500	1k	2k	4k						
1		2,3	2,8	3,7	4,0	4,6	5,4						
22		2,06	3,92	4,33	4,56	4,27	5,18						
		T30						EDT					
		125	250	500	1k	2k	4k	125	250	500	1k	2k	4k
1		2,3	2,1	1,7	1,2	1,0	0,9	1,3	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9
14		2,57	2,61	2,40	2,26	2,11	1,79						
15		1,00	0,90	0,93	0,86	0,84	0,73	0,94	0,84	0,83	0,84	0,73	0,67
18		2,15	2,02	1,99	1,97	1,97	1,95						
22		1,68	1,20	1,10	1,08	1,04	0,94	1,43	1,08	1,02	0,96	0,94	0,85

Tabla 24. C80 sala vacía “Opera Houses” nacionales.